CORSO

DI

GEOLOGIA

DEL PROFESSORE

ANTONIO STOPPANI.

VOLUME I.

Fascicolo I.

MILANO.
G. BERNARDONI E G. BRIGOLA, EDITORI.
1871.

CORSO

DI

GEOLOGIA.

CORSO

DI

GEOLOGIA

DEL PROFESSORE

ANTONIO STOPPANI.

VOLUME I.

DINAMICA TERRESTRE.

MILANO,

G. BERNARDONI E G. BRIGOLA, EDITORI.

1871.

AL LETTORE.

Quando intrapresi nel 1865 la pubblicazione delle mie *Note ad un corso di geologia*, non ebbi in animo che di supplire, colla maggior sollecitudine che si potesse, alla mancanza d'un libro di testo, adatto all'insegnamento nel R. Istituto tecnico superiore di Milano. Le mie *Note* non dovevano essere che un riassunto delle mie lezioni orali, ove mi sarei studiato di conciliare le esigenze generali della scienza con quelle affatto speciali dell'Istituto. Il titolo dell'opera non era dunque, come lo si volle benignamente interpretare, una espressione della modestia dell'autore, ma quella delle sue precise intenzioni. Fu nel corso della pubblicazione che il lavoro mi crebbe, dirò, mio malgrado, fra le mani, finchè, continuando a scrivere per quasi quattro anni di seguito, venni a varcare di molto i limiti che mi era imposto. Inevitabile conseguenza di questa semi-improvvisazione furono molti difetti che io sono ben lungi dal volermi dissimulare. Il pubblico tuttavia, e i pochi che mi onorarono delle loro critiche, furono assai più indulgenti con me che non potessi esserlo io stesso; e sul punto di por mano a una nuova edizione, in seguito al rapido smaltimento della prima, mi trovai quasi al principio dell'opera. Mi vi accinsi coll'animo di chi sente di dover rifare tutta la via percorsa, e l'opera mi sortì così profondamente modificata, che non potei sottrarmi alla necessità di sostituire al titolo, che rispondeva a un programma ristretto e a uno scopo tutto speciale, un altro che esprimesse un programma più vasto e uno scopo più universale.

Questo *Corso di geologia* riproduce dunque sostanzialmente le mie *Note*, ma così modificate, riordinate, accresciute, da riuscire poco meno che un'opera nuova. L'enumerazione dei cambiamenti introdottivi sarebbe troppo lunga, e, per giunta, inutile affatto. Mi credo soltanto in dovere di avvertire chi ha letto le mie *Note*, che questa nuova pubblicazione le rettifica in parecchi punti o erronei o inesatti. Ho cercato inoltre di proporzionare meglio le diverse parti, e di dare al complesso dell' opera uno sviluppo più logico e più naturale. In genere gli argomenti sono maggiormente sviluppati, e meglio rischiarati, anche col soccorso di note e di figure. Ve ne hanno anche di quelli o appena toccati o interamente ommessi. Non volli, p. e., accrescere la mole di un'opera già tanto voluminosa con un trattatello di mineralogia, mentre fra le mani di tutti esistono buoni trattati di questa scienza. Certe questioni poi, sôrte or ora, e che vanno maturandosi nel campo della polemica, esigono tale sviluppo di dimostrazione, che male si conterrebbero nei limiti di un trattato elementare, destinato piuttosto a raccogliere quanto ha la scienza di acquisito, che a discutere ciò ch'essa tenta di raggiungere. Quelle questioni troveranno nel caso miglior posto in un supplemento, cui già le mie *Note* facevano presentire, avendo già da lungo tempo l'intenzione di occuparmene, soltanto che mi basti la lena. A questo supplemento, che potrebbe portare il titolo di *Geologia complementare*, sarebbero riserbati quegli argomenti, la cui trattazione suppone già il pieno possesso delle nozioni di quella scienza, che è oggetto del presente *Corso*.

Valgami del resto, più che altro, il buon volere a meritarmi di nuovo l'indulgenza dei lettori, come a me vale d'incoraggiamento e di sprone il favore col quale vennero accolte le mie antecedenti pubblicazioni: buon indizio anche questo dell'amore e dell'interesse crescenti per questi studi in Italia.

Milano, 28 novembre 1870.

A. Stoppani.

CORSO DI GEOLOGIA.

INTRODUZIONE.

Ogni qualvolta ho ripreso da capo le mio lezioui di geologia all'Istituto tecnico superiore di Milano, per quanto variassi nella forma e nella sostanza, trattandosi di pigiare entro le angustie di un breve anno di insegnamento una scienza così sconfinata; mi sono sempre fatto una legge di insistere, pigliando le mosse, sull' *oggetto* della scienza che io professo. Nell'oggetto anzi tutto sta, come in germe, il piano dell' insegnamento a cui si deve aderire, perchè l'insegnamento stesso sia normale nel suo sviluppo, e maturi grado grado quella sintesi progressiva, a cui mira, come a suo scopo, l'analisi, nella quale consiste lo studio di una scienza. Senza una mira prefissa a cui tutto il piano dell' insegnamento sia coordinato, nella mente dell' allievo più presto si ingenera la confusione che l' ordine; e la mente, lungo tempo svagando tra un caos di fatti slegati e di ragioni non concatenate, si trova alla fine di avere adunato un cumulo indigesto di materiali incoerenti, piuttosto che eretto uno splendido e solido edificio. Mi perdoni dunque il lettore se io lo intrattengo un po' lungamente sull' *oggetto della geologia;* anzi lo prego ad attender bene a quanto sto per dire in proposito, perchè non ci troviamo poi in seguito ad ogni pagina con quella dimanda sulle labbra, che molti ha sfiduciati e sfiducia dall' attendere seriamente ad una scienza, la quale deve ormai pigliare la sua buona parte in quella che si chiama coltura commune. La domanda di cui parlava è questa: « A che valgono, a che ci conducono questi studî? » E in questa domanda si sentono espressi mille dubbî: che la geologia sia una scienza senza scopo, senza principî; una scienza curiosa piuttosto che utile, di fantasie piuttosto che di ragio-

namento. Più che altro poi vi si trova mal celata l'ignoranza ancora troppo commune, di cui non si fanno carico anche le menti più elette, circa la vera indole di questa scienza, circa i principî a cui si regge, e i reali progressi di cui si vanta. La geologia!.... I più credono ancora consista la scienza del geologo nel saper distinguere le diverse pietre.... Eppure io credo prossimo il giorno in cui sarà vergogna l'ignorare i principî della geologia, come lo è al presente, per qualunque colta persona, l' essere digiuno degli elementi della geografia e della storia.

L'oggetto di una scienza dovrebbe già trovarsi nella sua etimologia. Ma questo non è il caso della geologia, poichè il suo oggetto non si poteva esprimere in un modo più indeterminato che traendone il nome dalle due parole greche γη (*terra*) e λόγος (*discorso*). È vano l'insistere per provare come la scienza, che fosse in genere un *discorso sulla terra*, comprenderebbe, con pari diritto, la geologia, la geografia, la fisica terrestre, e tutte quelle scienze di cui si completa lo studio del globo. Abbandonata pertanto l' etimologia, e pigliata la parola *geologia* quasi fosse, più che altro, un nome convenzionale, cerchiamo l'oggetto di questa scienza in essa medesima, interrogandone l'origine, e seguendone in breve lo sviluppo.

Da migliaja d'anni l'uomo assiste allo stupendo spettacolo dell'universo. L' impressione però che ne ricevette e ne riceve, o da cui è mosso a riflettere, fu ed è proporzionata, più che alla meravigliosa varietà della scena, al suo sviluppo fisico, intellettuale e morale. Humboldt nel suo *Cosmos* ha già fatto sentire quanto poco gli antichi si occuparono della natura. Se nei poeti troviamo sovente introdotte delle immagini e delle similitudini tolte dalla natura, ci accorgiamo però facilmente, che essi sentivano l' impressione del fenomeno, ma non erano punto mossi a cercarne le cause: il che vuol dire che era loro straniero quel gusto, quel sentimento tutto nuovo, che nasce dal riconoscere la mutua dipendenza, il legame dei fenomeni; dallo scoprire, ammirare, indagare l' ordine dell'universo nel tempo e nello spazio. Se noi cerchiamo come a poco a poco gli spiriti umani sentissero e studiassero la natura, in guisa che si arrivasse a un secolo, come il nostro, in cui le scienze naturali hanno preso quasi il sopravvento sulle altre; troviamo, appunto perchè alla riflessione precede il senso, che le prime scienze coltivate furono quelle che versano sopra i fenomeni più appariscenti, e che più vivamente e più continuamente colpiscono i sensi. Più tarde dovevano giungere quelle fra le scienze, le quali si occupano dei fenomeni più reconditi, che sfuggono alla percezione e alla volgare osservazione: ultima finalmente quella, i cui fenomeni entrano nel dominio del passato, e che, piuttosto che scienza di osservazione, deve dirsi scienza di induzione. È un fatto che i primi naturalisti furono gli

astronomi; gli ultimi i geologi. I geologi narrano delle epoche della terra: non paghi di quello spettacolo di movimento e di vita che ai loro occhi presenta la terra, cercano altri spettacoli di movimento e di vita, non contemplati da nessuna umana generazione; vogliono, per dir così, far rinascere i tempi che furono. Ma un tale pensiero poteva egli nemmeno affacciarsi alla mente dell'uomo, prima che avesse percorso i campi del presente e li avesse trovati angusti, per quel legame di causa e d'effetto, onde il presente trova le sue ragioni nel passato? Dovevano adunque precedere le altre scienze; dovevano essere misurati i campi celesti, perlustrata la superficie del globo, penetratene le viscere fin dov'era possibile, tormentata la natura in tutti i modi, riconosciute le forze che la governano, scoperte le leggi che accostano, sotto forme e proporzioni determinate, gli atomi, quelle per cui gli atomi stessi ubbidiscono a impulsi d'ordine superiore, o si uniscono a formar l'organismo. Da tante ricerche, che soddisfacendo alla ragione con un primo perchè immediato, la rendono esigente di un secondo perchè, e di un terzo e di un quarto, doveva riuscire ben presto alle questioni di origine, le quali la traggono necessariamente entro le regioni del passato. Si può dire che l'immenso complesso delle questioni di origine, che si affaccia all'umana ragione quando crede di avere compreso abbastanza il presente, per potersi avventurare nel passato, il complesso, dico, delle questioni d'origine è ciò che abbraccia la geologia; se l'abbracciare veramente tutto questo complesso non spettasse a un'altra scienza, di cui finora non abbiamo che il nome, la *cosmogonia*, scienza serbata alle generazioni future. Intanto la geologia è quella che si propone di rispondere al maggior numero e nel miglior modo possibile alle questioni d'origine; di indagare per quale non interrotta serie di avvenimenti, se non l'universo, il globo terracqueo, ne' suoi rapporti coll'universo, si presenta qual è. La geologia vuol dirvi la storia della materia e della vita. E siccome del passato non resta, se pur può dirsi, che il presente, delle cause non restano che gli effetti; così la scienza non poteva proporsi seriamente di conoscere il passato, se non aveva compreso per bene il presente; così la geologia non poteva veramente esistere, finchè le altre scienze naturali non fossero abbastanza mature.

Non mi si obbietti che la tendenza delle menti umane a indagare il passato è quasi innata nella mente stessa; che il problema delle origini è un problema tutto primitivo, come lo attestano tutte le antiche cosmogonie. Le antiche cosmogonie, anche quella che si fonda sulla ispirazione divina, prescindono dalle cause seconde; prescindono dalle leggi della natura, e si portano direttamente verso la causa prima, e trovano l'origine dell'universo in quella potenza soprannaturale, che ha in sè sola la

ragione di essere. Infine le quistioni d'origine, piuttosto che sciolgliersi, si troncano, col dirsi che l'nniverso è creato da Dio. Anche la cosmogonia mosaica, che pnre ci mostra nno svolgimento successivo del creato, e segna a grandi tratti lo sviluppo del globo, non riconosce tale svolgimento, tale svilnppo, se non in quanto, anche in tntte le successive fasi, dipende immediatamente dalla volontà che crea.

Quando si parla della scienza che l'uomo si acquista ragionando in baso alla osservazione e alla esperienza; quando si parla insomma di *scienze naturali*, la causa prima, o ammessa, o anche, se è possibile, non ammessa, non si compnta fra le ragioni. Sarà, se vuolsi, un primo postulato, come può essere un'nltima consegnenza, quando, esanrite tutte quante le riprese della sensibile natura, e rimanendo ancora problema il primo perchè, la ragione dovrà prostrarsi davanti a quel Primo Principio, da cui deriva quel complesso mirabile di principî e di leggi, svelato dalla scienza nel sno intreccio stupendo, ove si conciliano l'ordine col disordine, la perpetna mobilità colla stabilità continua, l'uniformità colla varietà, la vita colla morte, l'eterno fremito del caos coll'armonica tranquillità dell'universo; qnando qnesto universo non apparirà che come uno specchio, una grande estrinsecazione degli attributi divini. Ma le scienze naturali, il ripeto, non violano i confini del soprannaturale; non escono dai dominî delle cause seconde, le quali cominciarono a prodnrre, appena dalla causa prima furono prodotte. Nè v' ha motivo di credere che il loro corso venisse interrotto, col ripetersi, a grandi intervalli, l'intervento dell'atto creativo, qnand'era reputato necessario allo sviluppo e al complemento dell'ideale dell'nniverso. È anzi, direi, proprio della natura della scienza umana (nè fa bisogno di essere razionalista per ciò) di allontanare il più possibile l'intervento della causa prima, riducendola entro i confini del puro necessario. Chi non abbia la vista troppo corta si avvedrà facilmente, come ciò che pnò avere, a prima giunta, faccia di petulanza, si risolve alla fine in un omaggio, che la stessa nmana ragione tributa a quella legge del *minimo mezzo*, scritta in capo al codice meraviglioso che governa il creato, e che è l'espressione più bella della potenza e della sapienza di Dio. A che in taluni tanto schifo, tanto timore dei rubusti conati della umana ragione, la qualo sembra acquistaro tanto maggiore vigore, quanto più progredisce lo sviluppo dell'nmanità? Si teme forse che allargando (sempre in base al vero, s'intende) i dominî delle canse seconde nello spazio e nel tempo, si venga a restringere l'impero della causa prima? Ma non è egli vero, al contrario, che la virtù della causa prima tanto più rifulge, quanto più gnadagnano, per la scienza, di potenza e d'estensione le causo seconde?

Ora si intenderà in quale senso io dissi che gli antichi non diedero quasi sentore che la loro mente fosse occupata dalle questioni d'origine. È invece nell'istesso senso che la scienza moderna è già sulle vie delle indagini, e già in grado di sciogliere pur qualche nodo del grande intreccio delle origini. La geologia è quella, anzi è la sola fra le scienze, che batte questa via, e rimonta dal presente al passato, attenendosi alla non mai interrotta catena degli effetti e delle cause, cui si sforza di percorrere fino al primo anello. Per rimontare così alle prime origini del globo, la geologia piglia come base, come punto di partenza, il presente, che sarebbe come l'ultimo anello di quella catena, a cui pure altri anelli andrà aggiungendo il futuro. Il presente ha le sue ragioni nel passato; l'oggi è figlio dell'jeri, di cui non è che la continuazione, come l'jeri nasce dall'jer l'altro; e così via via nascono gli anni dagli anni, i secoli dai secoli, e la scienza rimonta d'effetto in effetto, rifacendo il passato; nè si arresterà sulla sua via, finchè non trovi un qualche cosa che abbia la sua ragione in sè stessa, sicchè sarebbe follia il ricercare più oltre.

Mi pare che la scienza così intesa, questo patrimonio commune dell'umanità, di cui godono e intorno a cui sudano per mantenerlo e accrescerlo tutti gli uomini di buona fede, non possa dar ombra nessuna, nè ai razionalisti che negano, nè ai credenti che esagerano certi principî. Vedano gli uni e gli altri come l'umana ragione ha un campo libero, sconfinato, per correre, prima di trovarsi a fronte della rivelazione, prima di essere forzata ad ammettere od a negare... Ma che dico? A questo punto la ragione non si troverà giammai. Nessuno può forzarla a negare il vero o ad ammettere il falso, il che in un modo e nell'altro è distruggere sè stessa. E quando troverassi veramente a fronte della rivelazione, a confrontarvi i suoi veri, troverà come non possono essere di natura diversa due raggi che emanano dello stesso fuoco. Io credo che finora gli increduli e gli apologisti siano caduti, con diversa intenzione, nello stesso errore: quello di precipitare certi confronti che non appartengono alla scienza, e che l'umana ragione non ha ancora gli elementi per instituire.

A chi poi non sapesse che fare di una scienza, la quale, volendo rimontare alle origini del globo, prescinde affatto dall'atto creativo, risponderò in guisa che abbiano ad esserne capacitati anche quelli, i quali temessero che la scienza non ci vincoli con ragioni preconcette. Dimanderò adunque: Voi non credete al certo che il globo sia sortito qual è dalla mano di Dio... che? ne dubitereste? Allora non avete che a riflettere un istante a quanto succede sotto gli occhi nostri. La terra è per noi un qualche cosa di immutabile: le montagne ci personificano la stazionarietà: il mare si muove continuamente, mugge, freme, quasi gli sembrino

angusti gli smisurati confini; ma le sue ire in seno a lui stesso ritornano o muojono. Eppure la cosa non è così come ci sembra: nè fa bisogno che venga di tanto in tanto un terremoto a scuotere, coi nostri corpi, le nostre convinzioni, a rendere meno dogmatici i nostri proverbi, a farci sospettare insomma che questa mole non sia poi tanto inconcussa, come ci abitua a credere una troppo breve e troppo ristretta esperienza. Oggi il globo non è più com' era jeri. Jeri, p. e., il Po ha trascinato al mare circa 4000 metri cubici di materia, rapita alle nostre montagne. Nel corso di quest' anno il Gange ha tolto alle Alpi dell'Himalaya, per farne sedimento di mare, tanto materiale, quanto basterebbe a ricostruire sessanta volte la più grande piramide d'Egitto[1]. E allo stesso modo lavorano tutti i fiumi del globo, dal Rio delle Amazzoni, il quale tien distinte le sue onde nel mare fino a 500 chilometri dalla foce, al ruscello che si nasconde furtivo tra le erbe. E non vediamo noi come tutto invecchia, si consuma, si disperde, e tutto insieme ringiovanisce, si rinnova, si raccoglie? Non c' è un alito d' aria, non una stilla di acqua, che non lasci il suo solco, cioè non porti al globo un mutamento. Se noi potessimo tener calcolo dei risultati di tante forze agenti sul globo, rimarremmo storditi in vedendo come il globo, di giorno in giorno, d'ora in ora, si cambi. E ciò senza aspettare che un vulcano, come l'Hecla, vomiti d'un sol tratto tanta lava, quanta basterebbe a costruire il Monte Bianco; o che appajano, per incanto, sorgenti, nuove isole in mare, come la Giulia e la Sabrina; o che un terremoto sollevi d'un tratto, di forse un metro, una superficie di 100,000 miglia quadrate, come avvenne al Chili nel 1822, o converta in laguna una terra di 200 miglia quadrate, come avvenne nell' India nel 1819. E ciò che avviene oggi, avveniva jeri: e ciò che avviene nel corrente anno, avvenne per tutta quella serie di secoli, del cui giro ci informa la storia, o di quelli ancora che volsero nelle tenebrose età preistoriche: chè la storia al certo non nacque col mondo, mentre col mondo nacquero le forze che lo modificano, e col mondo ebbero principio i suoi cambiamenti.

Quali erano dunque le condizioni del globo, tanti secoli fa, quando l'uomo stampovvi la prima orma? Quali erano in tutta la serie de' tempi che precorsero all' uomo? Quali erano, rimontando fino a quel giorno, in cui forse, come altri immagina, il globo non era che una nubecola senza contorno, che errava, riflettendo la smorta luce diffusa negli spazî; e quando quella nubecola era forse stemprata in una nebulosa più vasta o ancor fusa, perduta in quel mare dei confusi elementi, che chiamossi caos? Per quali fasi

[1] Lyell, *Principes*.

passò questa massa, che ci appare come un solido globo, danzante intorno al sole, col quale corre una via ancora ignota entro il turbine degli astri sparsi nel firmamento? Come, dalla sterile confusione del caos, passò la terra grado grado a quello stato di maravigliosa fecondità, per cui ci si mostra quasi giardino coperto di verdura sempiterna, ove gli animali si moltiplicano così a dismisura, che ogni foglia d'albero è una colonia, ogni stilla d'acqua un piccolo mondo? Ecco i problemi che la geologia si propone di risolvere. Io non dirò già che la geologia sia ora in grado di rispondere a tutti i quesiti che riguardano le origini del globo: io non dirò nemmeno che si tenga sicura di riuscire un giorno a rispondere a tutti. Anzi al presente (lasciando che del futuro risponda il futuro) è breve tratto di via quello che la geologia può tenersi sicura di avere percorso. Ma intanto il suo scopo è fisso, e segnata la via che ve la deve condurre.

Ma qual'è questa via? Abbiamo già detto come la necessità fissi a priori un punto di partenza alla geologia. Per punto di partenza il presente; per meta il principio delle create cose. Ma quello che si può dire presente per il geologo, è ben poca cosa. Noi non assistiamo che un momento di passaggio a questa scena sempre mutabile dell'universo. Il geologo può ricorrere alla storia, la quale lo farà rimontare alcuni secoli entro il passato. Ma la storia che ci ha ella conservato dei fenomeni passati? D'ordinario la memoria di qualche grande catastrofe, che potè richiamare per qualche istante lo sguardo dello storico, sempre inteso piuttosto alle rivoluzioni del mondo morale, che a quelle del mondo fisico. Vedremo come al geologo, più che la storia, parlino i monumenti che la storia illustra. Ma il linguaggio dei monumenti non va più in là del tempo, in cui i monumenti stessi vennero eretti. E poi, che è mai la storia pel geologo che intende a conoscere le rivoluzioni di tutto quanto il globo terrestre? Se la storia lo fa rimontare tre o quattro mille anni per le regioni circummediterranee, il mondo degli antichi; lo arresta a qualche secolo per l'America. Anzi per la più gran parte del globo la storia comincia ora, o comincerà poi, e probabilmente si troverà precorsa dalla geologia, a cui verrà a domandar lume essa stessa.

Il geologo, ridotto quasi unicamente alle proprie riprese, così va ragionando seco stesso: C'è egli bisogno veramente che altri mi narri i cambiamenti, che il globo ha subito nel corso dei secoli? La mia esperienza non mi potrà dare elementi bastevoli per indovinare io stesso ciò che avvenne in passato? Non è forse una delle più communi facoltà dell'intelligenza questo d'indovinare dall'effetto la causa; il che è come dire d'indovinare dal presente il passato, poichè nei fenomeni naturali la causa e l'effetto si succedono in ordine di tempo? E la causa stessa che io indovino,

mediante l'effetto che io osservo al presente, non è essa stessa un effetto di altra causa, che la precedette anche in ordine al tempo? Non potrò io quindi rimontare d'effetto in effetto, di causa in causa, rifarmi il passato, giungere fino al principio delle create cose?... Io veggo (continua il geologo a ragionare seco stesso) in oggi il globo subire l'impero di certe forze, ed essere di continuo modificato da un numero infinito di agenti, insieme concatenati, l'uno dall'altro dipendenti. Ciascuno di tali agenti lascia, nello stesso fatto di una modificazione che infligge al globo, una traccia della sua azione, in cui l'azione stessa si afferma nel presente, benchè appartenga già ai dominî del passato. Quando io scorgo impressa nel fango l'orma di un piede umano, non posso forse asserire che per di là un uomo è passato? Un torrente, rigonfio dalla piena, precipita verso il piano, e corre a perdersi in mare; ma egli ha scalzate le rupi, ha sradicati gli alberi, ha travolto i massi, sollevate le sabbie o le fanghiglie, scavato un letto, deposto in seno al mare la sua rapina. Che il torrente si dimagri, inaridisca, scompaja.... quanti segni non restano del suo breve tumultuoso passaggio! Un terremoto scuote la terra dalle fondamenta, e tosto si accovaccia immobile come se nulla fosse stato; ma restano testimonî della sua ira passaggera le mura crollate, le rupi squarciate, le intere regioni messe a ruba, o alzate, o sprofondate. Un vulcano d'improvviso si accende ed erutta torrenti di lavo infuocate, poi s'addormenta per secoli, ovvero si spegne; ma quelle lave restano. Se Plinio non ci avesse descritta quella terribile eruzione del Vesuvio, la quale è la prima per la storia, mentre le mille che la precedettero avevano già eretta la mole del monte Somma; se Plinio, dico, non ce l'avesse descritta, rimarrebbero per ciò meno le lave, le ceneri, i lapilli e le rovine di Ercolano e di Pompei ad attestarcela?

Parmi dunque più che abbastanza chiarito l'*oggetto della geologia*, e tracciata nello stesso tempo la via, che questa scienza deve necessariamente seguire per raggiungere lo scopo. Oggetto della geologia sono gli avvenimenti che si compirono sul globo, dalla sua origine fino al presente; e la via è l'esperienza del presente, come quella che ci dà la somma degli effetti a cui si riduce tutto il passato.

Dietro le premesse noi definiremo la geologia dicendola «*storia della terra, desunta dal confronto degli effetti prodotti dalle cause attuali coi fatti che attestano l'azione delle stesse cause in passato*». Questa definizione parmi si possa adottare come quella che in pari tempo dice lo scopo della nostra scienza, e addita i mezzi per raggiungerlo. Essa esprime il processo che segue la mente nelle indagini geologiche. Se ei vuol battere una via razionale, non c'è altra che questa: 1.° partire da una causa

qualunque che modifica attualmente il globo; 2.° marcare quelle modificazioni, ossia quegli effetti che si risolvono in un fatto permanente; 3.° rintracciare alla superficie e nell'interno del globo fatti identici o simili; 4.° da questi assorgere di nuovo alla causa, la quale non diversificherà dall'attuale, che per l'anteriorità dell'azione, anzi sarà la stessa causa che ha agito in passato, come agisce al presente.

Io non trovai finora negli autori una definizione che sia meritevole di esame. Trovo soltanto che il nostro Pilla, dopo aver dato della geologia una definizione al tutto vaga, chiamandola la « scienza che si occupa dell'esame della terra [1] », nel periodo col quale intende dilucidarla ha ben espresso il processo induttivo della scienza geologica: « La geologia, dice egli, prende a studiare i diversi fenomeni che seguono oggi giorno alla superficie del globo, e da questi si eleva a chiarire i varî ordini di cangiamenti che hanno occasionato la struttura della corteccia terrestre, e le cause che li hanno prodotti [2] ». Il signor Lyell, benchè non dia propriamente una definizione della geologia, si esprime però in modo da mostrare quanto bene ne abbia compreso l'oggetto e il processo che segue nelle sue indagini. « Prima, egli dice, di avere acquistato alquanto di esperienza, altri potrebbe supporre che ricerche di tale natura riguardino esclusivamente il regno minerale, le diverse rocce, i terreni, i metalli che rinvengonsi alla superficie della terra e nel suo seno a diverse profondità [3]. Col procedere però delle investigazioni, eccoci condotti bentosto ad esaminare i cambiamenti successivi, che ebbero luogo nello stato primitivo del globo, e a studiare le cause che li hanno prodotti. Eccoci anzi, cosa ancor più singolare e inattesa, tratti bentosto a frugare negli archivî della creazione animata, delle diverse tribù di animali e di piante che, a differenti epoche, hanno abitato il nostro pianeta [4] ».

Ritornando alla nostra definizione della geologia, altri non vorrà forse tollerare che le si dia il nome di storia della terra. Eppure la geologia e la storia consistono entrambe nella esposizione veridica di una serie di avvenimenti i quali si succedettero nel tempo. Se la storia narra principalmente, e si può dire esclusivamente, gli avvenimenti della umanità, o in quanto alla umanità si riferiscono, mentre la geologia narra le rivoluzioni del mondo fisico; se la storia attinge alla viva voce, agli scritti, e ai monumenti eretti dagli uomini, mentre la geologia impara il gran linguaggio

---

[1] *Trattato di geologia*, pag. 1.

[2] Ivi, pag. 2.

[3] Élie de Beaumont nelle sue *Leçons de géologie practique* (pag. 3), dice che l'oggetto della geologia sono i minerali considerati come elementi della scorza terrestre.

[4] *Manuel de géologie*, pag. 1.

della natura e legge le grandi pagine scolpite in pietra da quegli agenti che governano il mondo fin dalla sua origine; la storia e la geologia però vi narrano ugualmente il passato. Oso dire anzi che le due scienze si identificano nell'oggetto, ripartendosi soltanto fra loro l'immenso campo del passato. La storia non pretende che di rimontare alle origini dell'uomo e attinge a quelle fonti che l'uomo stesso le ha dischiuse co' suoi monumenti, colle sue medaglie, co' suoi scritti. La geologia invece si propone di partire di là dove la storia si arresta, e di spingersi fino alle origini del globo. Le fonti a cui deve attingere non sono più umani documenti: sono monumenti eretti, lapidi scolpite, medaglie battute, scritti vergati dalla natura. In questo senso si può dire, con una contraddizione che suona nelle parole ma non esiste nella idea, essere la geologia la storia dei tempi antistorici. Quanto le due scienze sieno sorelle, anzi, come dissi, si unifichino nel concetto d'una grande esposizione degli avvenimenti, dal principio del mondo fino a noi, appare assai bene dal modo con cui la scienza s'è messa a trattare certe questioni, riferibili a que'tempi, ove la storia si arresta e la geologia piglia le mosse. Nelle questioni dell'uomo preistorico, o piuttosto delle origini dell'uomo, noi vediamo come la storia invada i dominî della geologia, mentre questa invade con maggiore ardimento, e con maggior ragione, i dominî della storia. La storia, mancandole gli scritti, le medaglie e le lapidi, ricorre agli strati, ai fossili, ai laghi, alle torbiere, alle caverne; la geologia, alla sua volta, che trova ne' suoi strati e tra i suoi fossili le reliquie dell' uomo e dell' umana industria, pretende essa di dire alla storia le origini dell'uomo, i suoi primitivi costumi, le sue industrie, le sue arti, le sue guerre, e cerca negli archivî, fin qui soltanto aperti alla storia, la conferma delle sue induzioni.

Quanto abbiam detto ci lascia facilmente comprendere quanto vasto sia il campo della geologia, e quanta sia la sua comprensività, non tanto perchè la storia che narra non abbia che i limiti indefiniti del tempo, ma perchè i mezzi di cui si deve servire sono indefinitamente molteplici. Leggere il gran libro della natura è ben altra cosa che leggere i libri scritti dall' uomo. Per ben conoscere il passato, bisogna che ci sia noto perfettamente il presente. E del presente che conosciamo noi? Per quanto le scienze fisiche e naturali vantino i loro progressi, la natura non è ancora tutto un mistero? Quanta oscurità avvolge ancora i fenomeni in apparenza i più semplici, i più volgari, quelli che si producono sotto i nostri occhi mille volte in un giorno! Eppure la geologia non può progredire che in misura del progresso delle altre scienze. L'astronomia, la meteorologia, la geografia, la fisica, la fisica terrestre, la chimica, la botanica, la zoologia, la fisiologia, l'anatomia comparata, la mineralogia sono le scienze da cui

la geologia cava i suoi elementi, non essendo che una scienza di induzione, la quale si appoggia a tutti gli ordini di fatti e a tutte le leggi che si rivelano nel campo sconfinato della scienza della natura, cui le diverse scienze fisiche e naturali si sono ripartite fra loro. La geologia deve pertanto famigliarizzarsi colle leggi cosmiche che reggono l'universo degli astri; cogli imponderabili che sono la vita dell'universo; colle proprietà dei corpi, colle loro combinazioni e continue reazioni; colle meteore dell'atmosfera; coi movimenti del mare; colle piante che rivestono, cogli animali che popolano il globo. E poi, quando possiede tutti i segreti della natura presente, la geologia è ancora da capo: essa non conosce che il linguaggio, in cui la natura scrisse la sua storia in tutti i tempi, e in cui soltanto vuole narrarla al geologo. La geologia è allora sulla soglia del passato, e sola deve percorrerne le tenebrose vie. La fisica, la chimica, la geografia, la zoologia, tutte le scienze naturali si arrestano entro i limiti del presente. La geologia dev' essere la fisica, la chimica, la geografia, la zoologia, la botanica del passato. Io credo d'appormi, segnalando la geologia quasi una vasta applicazione di tutte le scienze fisiche e naturali alla ricerca delle origini del globo e delle sue rivoluzioni fino a noi.

Fissato l'oggetto della geologia, e determinata in massima la via da seguirsi, non ci tornerà difficile di stabilire più particolarmente un piano di operazioni, per procedere metodicamente, cioè logicamente, nelle indagini. Questo piano ci è già tracciato, per sommi capi, da quel processo logico, che è imposto alla mente dallo scopo che si propone la geologia, e dai mezzi, di cui può attualmente disporre per raggiungerlo: 1.° il geologo studia quelle forze, che agiscono attualmente come forze modificatrici del globo, spiando quegli effetti che si traducono comunque in un fatto permanente; 2.° ricerca nella parte accessibile del globo fatti simili o identici a quelli che trovò prodursi come effetti delle cause attuali, e assorge immediatamente alle stesse cause, considerate come agenti in passato.

La geologia resta adunque naturalmente divisa in due parti: la prima che studia il complesso dei fenomeni attuali, e la chiamiamo *dinamica terrestre:* la seconda che studia, o piuttosto induce i fenomeni che si compirono nel passato, e sarà la *geologia* propriamente detta.

Studiando i fenomeni attuali, ci appare a prima vista come il globo si trovi, per dir così, in balía di due grandi ordini di forze, le quali lo trasformano, lentamente quanto vuolsi, ma senza posa. Certe forze nascono all'esterno e agiscono alla superficie del globo; e noi le diremo *forze esogene.* L'atmosfera, come forza, o piuttosto come sistema di forze modificatrici, entra in questa prima categoria. Altre forze invece nascono e agi-

scono nell'interno, benchè ci siano rivelate da un gran sistema di esterne, superficiali manifestazioni, alle quali appartengono, per esempio, i vulcani. Sarà una nuova categoria: quella delle *forze endogene*. La dinamica terrestre, pigliando in esame prima le *forze esogene*, poi le *forze endogene*, si dividerà necessariamente in *dinamica terrestre esterna*, e *dinamica terrestre interna*. Procedendo alla ricerca dei fatti geologici, e interpretandoli mediante il confronto coi fenomeni che vediamo prodursi oggidì, troveremo naturalmente (ammesso, come abbiamo detto, essere il presente lo specchio del passato), che alcuni fatti si riportano alle cause esogene, altri alle cause endogene, le quali agirono in passato. La *geologia* si troverà dunque anch'essa divisa in due parti, corrispondenti alle due in cui è divisa la dinamica terrestre, ma aventi ciascuna, per la parzialità dei fatti che vi si studiano e delle ragioni che li spiegano, quasi una scienza a sè. Quella prima parte della geologia, la quale studia i fenomeni che gli agenti esterni produssero in passato, è già detta con nome sacro dall'uso *geologia stratigrafica*. Vedremo come il predicato le si convenga abbastanza bene, in quanto che questa parte della geologia consiste quasi unicamente nello studio degli strati componenti la crosta del globo; nello studio cioè di quei fondi marini, sui quali, quasi unicamente, è scritta la storia del passato, che si riporta agli agenti esterni. La seconda parte della geologia, che narra le rivoluzioni dovute all' energia delle forze interne, io l'ho chiamata *geologia endografica*.

Il nostro trattato sarà dunque diviso in tre parti: La parte prima tratterà della DINAMICA TERRESTRE che si suddividerà in ESTERNA ed INTERNA; la seconda della GEOLOGIA STRATIGRAFICA; la terza della GEOLOGIA ENDOGRAFICA.

DINAMICA TERRESTRE.

PARTE PRIMA.

DINAMICA TERRESTRE ESTERNA.

CAPITOLO I.

DELLA TERRA IN GENERALE E DELLE FORZE PRIMARIE CHE VI AGISCONO.

1. La *dinamica terrestre*, come abbiamo premesso nella Introduzione, è quella parte della geologia, che studia gli effetti i quali sono prodotti ora dai diversi agenti modificatori del globo, e li studia nell'intento di riconoscere poi nei fatti che il globo stesso presenta, l'azione di quegli stessi agenti in passato. La dinamica terrestre non va quindi confusa nè colla *fisica terrestre*, nè colla *geografia fisica*. Le dette tre scienze studiano ugualmente i fenomeni terrestri e le cause che li producono: ciascuna però da un punto di vista diverso, come con diverso scopo, avendo così ciascuna un campo vastissimo a sè. La *fisica terrestre* considera le leggi che governano il globo in sè stesse. Piuttosto che i fenomeni, cerca le cause di essi: prescindendo da un modo concreto con cui si determinano attualmente le diverse forze che governano il globo, studia in astratto le forze stesse come agirebbero in qualunque supposto ordinamento del globo. La *geografia fisica* al contrario si attiene piuttosto ai fenomeni in concreto, che alle cause da cui essi dipendono. Tale è l'indole della geografia, qualunque ne sia l'attributo che ne determini una parte: osservare i fatti, quali si presentano attualmente nel loro ordine topografico, senza preoccuparsi del come si presenterebbero, quando fosse diversa la distribuzione delle terre e dei mari. La *dinamica terrestre* finalmente non studia propriamente nè le sole cause in astratto nè i soli fenomeni in concreto: si occupa invece dei fenomeni, solo in quanto sono l'effetto di una data causa, di modo che affermino l'azione di essa causa, per quanto diverse sieno le possibili condizioni del globo. In ciò si avvera come le diverse scienze fisiche e naturali debbano necessariamente precorrere la geologia. La dinamica terrestre infatti non può ragionare dei fenomeni in astratto, dei fenomeni

possibili, se non conosce la natura delle forze agenti e la realtà degli effetti che essi attualmente producono nelle attuali condizioni della terra. La dinamica terrestre, in altre parole, appartiene ad un ordine superiore di riflessioni, ed è come la sintesi della analisi istituita parzialmente dalla fisica terrestre e dalla geografia fisica.

2. Valga un esempio a porre in chiaro questo modo di vedere. La fisica terrestre, la geografia fisica e la dinamica terrestre dovranno tutte e tre occuparsi de' ghiacciai. Ben diversi saranno però i quesiti che si proporrà ciascuna. La fisica terrestre si domanderà: perchè sotto le diverse latitudini sono diversi i limiti delle nevi perpetue? perchè quelle nevi si convertono in ghiaccio? perchè quel ghiaccio si muove e scorre giù per la valle come un torrente di cristallo? La geografia fisica invece si troverà obbligata a fissare esattamente i limiti delle nevi perpetue sotto le diverse latitudini; vi delineerà i diversi gruppi di ghiacciai sulle diverse alpine catene; vi farà rimarcare l'enorme sproporzione tra i ghiacci artici e gli antartici; vi dirà fin dove si estende la zona dei ghiacci galleggianti nei due emisferi. Rimane la dinamica terrestre. La sua attenzione è rivolta agli effetti che producono i ghiacciai, e studia come sotto a quelle moli semoventisi si ottundano i monti, si striano le rupi; osserva come il detrito, che frana dalle montagne, giù discende portato in groppa al ghiacciajo, e si arresta distribuito in colline concentriche sui tepidi piani, ove il ghiaccio scompare, o si spicca dai continenti, per correre le sorti dei ghiacci galleggianti, e perdersi nelle profondità dell'oceano. La dinamica terrestre studia per bene tutti questi fenomeni, per offrire alla geologia degli argomenti, che le facciano scoprire i ghiacciai anche là dove per avventura regnasse attualmente un torrido clima.

Chiarita così la natura di quel ramo di scienza che imprendiamo a trattare, crediamo opportuno di misurare dapprima con rapido sguardo il campo su cui dobbiamo esercitarci, premettendo alcune notizie generali sulla costituzione del globo, e sulle forze generali che lo governano.

3. La Terra è un pianeta, che dista dal Sole 15,346,000 miriametri e dalla Luna 38,000 miriametri. Si rivolge intorno al Sole, compiendo il giro in 365 giorni, 5 ore, 48 minuti, 47 secondi. Ruota sopra sè stessa in 24 ore colla velocità di 154 miriametri all'ora, misurandola sull'equatore. Il diametro della Terra non è che la 112ª parte di quello del Sole, che ha un diametro di 146,000 miriametri, e la 100ª parte di un 100,000° di quello del sistema solare, il quale, misurato coll'orbita di Nettuno, è di 9,132 milioni di chilometri.

Ma il nostro sistema planetario non è che una parte minima di un sistema astrale di figura ovale o discoidale, deserto nel mezzo. Questo si-

stema astrale comprende tutte le stelle visibili nel firmamento, comprende la Via Lattea, formando una specie di anello. Il Sole colla sua coorte di pianeti si trova ora presso il lembo meridionale dell'anello. È perciò che da quella parte la Via Lattea si ravvisa più chiara. È diretto verso la stella Lamda, della costellazione di Ercole, o piuttosto si aggira, con un moto circolatorio della velocità di 28,800 chilometri all'ora, intorno ad un punto che cade in Ercole. Ma anche il nostro firmamento non è che uno dei mille sistemi astrali; chè tali appunto ritengonsi le nebulose, delle quali la più lontana disterebbe da noi 35,000 volte la distanza delle stelle a noi più vicine.

A quante vicissitudini può essere andato soggetto quest' atomo dell' universo, travolto come un pulviscolo in mezzo a tante miriadi di mondi!

4. La forma della terra è quella di uno sferoide irregolare, depresso ai poli, rilevato all'equatore. Si riteneva, che la figura della terra corrispondesse esattamente alla figura che assumerebbe una massa pari di liquido, ruotante sotto l'impulso della forza centrifuga. La scienza invece provò, più recentemente, che il nostro sferoide non è regolare, non presenta cioè un centro di figura, nè quindi ha la forma di un vero elissoide di rivoluzione.

Il volume approssimativo della terra è di 1,079 milioni di miriametri cubici; la sua superficie di 5 milioni di miriameri quadrati; la circonferenza equatoriale di 3,826 miriametri e 4,388 metri; il diametro polare di 12,712,159 metri; il diametro equatoriale è di 12,754,796 metri. La differenza tra il diametro polare e il diametro equatoriale è quindi di 42,636 metri, ossia di 1 : 299,152. Abbiamo adunque tra i due diametri una differenza di quasi 43 chilometri, ossia di circa nove volte l'altezza del Monte Bianco sul livello del mare.

5. La densità della terra è assai maggiore della media che si otterrebbe pesando in equo proporzioni le diverse sostanze che compongono la parte accessibile del globo. Eccovi alcune delle cifre che esprimono la densità della terra, presa, già s' intende, per unità di misura quella dell'acqua distillata:

Cavendish	5,48
	5,32
	5,12
1821 Carlini	4,39
1837 Reich.	5,44
1842 Baily	5,67

Adottiamo come più probabile la cifra di Baily, risultato di 1004 scrupolose osservazioni. Ora la densità media esterna non sarebbe che di 3 circa. La densità della terra è dunque il doppio di quella del basalto, più del doppio di quella del calcare e del granito, in fine più del doppio di quella delle rocce che compongono la crosta del globo.

Bisogna ricorrere a minerali, la cui esistenza alla superficie terrestre si può dire una mera eccezione, per trovare una densità pari o superiore a quella dell' interno della terra. Eccovene alcuni colle rispettive densità: — barite 4, 7; ferro da 6, 48 a 7, 80; piombo 11, 4; oro nativo da 12 a 14; oro fuso 19, 258; mercurio 13, 598; platino nativo 17, 33; platino laminato 22, 069. — Merita pure osservazione la scoperta di Rozet, il quale trovò che la maggiore densità del globo corrisponde alle sue parti più rilevate. Le montagne non spiegano punto un tale fenomeno se si considerano negli unici rapporti della loro propria densità.

6. Scendendo a più particolari osservazioni, troviamo la terra involta nella sua atmosfera, la cui composiziono è di 208 di ossigeno per 792 di azoto, oltre a pochi diecimillesimi (circa 7 : 10000 nell' inverno, 11 : 10000 nella state, giusta le esperienze di T. de Saussure) di gas-acido carbonico. La minima altezza assegnata all'atmosfera è di 20 chilometri; ma se le osservazioni di Liais sulla luce crepuscolare gliene assegnano 340; quelle sulla accensione delle stelle cadenti, 440; i calcoli di Loomis sulle aurore boreali spingono l'atmosfera alla enorme altezza di 859 chilometri. Il suo peso è di 10,350 chilogrammi sulla superficie di un metro quadrato.

7. La superficie del globo è divisa fra terra e acqua, in proporzioni enormemente diverse. La terra infatti sta all'acqua, come 100: 276. Poco meno di $^3/_4$ della superficie terrestre è dunque coperta dalle acque, sede di tanta attività chimica, fisica ed organica. Quanto alla superficie asciutta è dessa che presenta quelle irregolarità, le quali sono l' oggetto della scienza orografica. Ma tali irregolarità, talora così enormi all' occhio volgare, quasi scompajono all'occhio della scienza.

Eccovi gli estremi di tali irregolarità.

Profondità media del mare (Humboldt) . . .	300m
Altezza media dei continenti (Humboldt) . .	308m
Profondità massima del mare (Ross).	9,143m
Altezza massima dei continenti	8,839m

La massima profondità fu misurata da Ross a 900 miglia ad ovest di Sant' Elena. Il punto culminante del globo sarebbe il Gorishanta, uno dei

picchi dell'Himalaya, la cui elevazione sul livello del mare è indicata come di 27,212 piedi nell' *Atlante* di Stieler. La massima prominenza sarebbe dunque del valore di circa 10 centimetri, misurata sopra una sfera del diametro di oltre 100 metri. Dalla suesposta tabella si ricavano due dati importanti: 1.° la singolare proporzione tra le massime e le medie di altezza e di profondità; 2.° il poco valore delle irregolarità, confrontate col diametro terrestre.

8. Il confronto tra la parte asciutta e la parte inondata della superficie terrestre, oltre l' indicata sproporzione, rivela delle dissimetrie ben singolari. I continenti sono aggruppati intorno al polo artico, divisi in due grandi masse, che, staccandosi sempre più quanto più discendono a sud, non sono fra loro separati a nord che dagli angusti stretti, fra loro communicanti, di Behring e di Davis. Così $^6/_8$ circa della terra asciutta si trovano nell' emisfero boreale, rimanendone $^2/_8$ soltanto all'australe. Osservabile è anche la forma peninsulare de' continenti, che affettano le grandi masse continentali non solo, ma anche le loro appendici, offrendo ordinariamente la forma di un triangolo colla base a nord e col vertice a sud. Anche dove questa forma è meno spiccata, non cessano le appendici peninsulari di slanciarsi da nord a sud. Possono citarsi ad esempio, tra i continenti, le due Americhe e l'Africa; tra le penisole, l' Italia, la Scandinavia, la Corea, ecc. Un' altra singolarità è presentata dal perimetro dei continenti, mostrandosi essi tanto più frastagliati quanto più si avvicinano a nord, e tanto più uniti quanto più prossimi a sud. Valga il confronto tra l' America settentrionale e la meridionale, tra l' Europa e l' Africa, tra l' Asia e l'Australia, in genere tra le terre artiche e le regioni equatoriali.

9. Non parliamo della distribuzione dei mari essendo una immediata conseguenza di quella delle terre. Importante invece, nei rapporti geologici, è il conoscere la composizione dell' acqua. Ecco due analisi accreditate che hanno il vantaggio di mostrare come la salsedine marina presenti delle differenze secondo i diversi mari.

Acqua attinta da Muray nel mare verso la Scozia:

Sal marino	2,2001
Solfato di soda	0,3316
Cloruro di calcio	0,0784
Cloruro di magnesia	0,4208
Acqua	96,9691
	100,0000

Acqua attinta da Marcet nelle regioni medie dell' Atlantico:

Sal marino	2,660
Solfato di soda	0,466
Cloruro di calcio	0,199
Cloruro di magnesia	0,991
Acqua	95,684
	100,000

In queste analisi non figurano che i componenti principali, non tenendosi conto dei carbonati di calce e di magnesia, dell' ossido di ferro, ecc. Del resto di cento analisi dell' acqua di mare non ne trovereste due che convengano fra loro.

Quando ci intratterremo delle formazioni sedimentari, cioè dei terreni che la geologia vuol formati in seno alle acque, e che ora costituiscono assai più della metà delle masse continentali, non parrà strana tanta fecondità dell' Oceano, a chi richiami la copia ingente di sostanze solide che si trovano nelle acque anche soltanto allo stato di semplice soluzione. Se tutto il sale contenuto nel mare, dice Maury, fosse disteso sui continenti, coprirebbe una superficie di 7,000,000 di miglia quadrate con uno strato dello spessore di un miglio.

Secondo i calcoli di Schafhäutl il sal marino rappresenta 5 volte, e il solfato di soda col carbonato di magnesia 2 volte, il volume delle Alpi: il solo carbonato di calce uguaglia il volume de' Pirenei.

10. L' uguaglianza del livello del mare, salvo accidentali differenze, volute dalle leggi di attrazione, dall' evaporazione, da temporanei squilibri, ecc., è pure un fatto che serve di base alla geologia sotto molti rapporti. Ma tale livello è egli costante? Lo fu in tutti i tempi, nel senso che attingesse sempre la medesima altezza, misurando dal centro del globo? È questo un altro problema presentato alla geologia; la quale però, per una folla di importanti deduzioni, si accontenta che stia fisso il principio di quella uguaglianza del livello, in ogni epoca, per l' Oceano e pei mari communicanti, che si stabilisce, qualunque sia la quantità del liquido, in un bacino qualunque, e nei vasi communicanti.

11. Venendo ora a più parziale rivista delle masse continentali, importa di meglio apprezzarne il valore relativo. L' estensione delle parti asciutte del globo è fissata nell' *Handbuch der Erdkunde* di Klöden, secondo la tabella qui esposta, ove sono ridotte le miglia quadrate tedesche in chilometri quadrati (1 mq. = chil. q. 54,87).

	Continenti, chil. q.	Isole, chil. q.
Europa	9,997,000	569,000
Asia	43,566,000	2,842,000
Africa	30,288,000	625,000
America meridionale	17,679,000	176,000
» settentrionale	24,757,000	1,629,000
Australia o N. Olanda	8,856,000	2.877,000
	135,143,000	8,718,000

Estensione totale dei continenti	ch. q.	135,143,000
» » delle isole	»	8,718,000
Estensione totale della superficie asciutta	ch. q.	143,861,000

La segnente tabella rappresenta le massime e le medie altezze di ciascun continente. Le medie sono fissate da Humboldt.

Continenti	Massime	Medie
Europa	4,810m (Monte Bianco, Alpi di Savoja)	214m
Asia	8,839m (Gorishanta, Himalaya)	350m
Africa	4,580m (Abba-Jnret, Regioni del Nilo)	—?
America	7,750m (Vulcano Osorno, Ande dol Chilì)	Sett. 227m Merid. 344m

Un fatto importantissimo, che può rilevarsi da chinnque possieda appena i rudimenti della geografia, è questo che, quantunque i continenti abbiano la loro massima estensione a nord, il loro massimo rialzo è verso sud, e corrisponde alle regioni equatoriali o subeqnatoriali; corrisponde cioè al massimo rigonfiamento del globo. Ce ne persnaderemo facilmente confrontando le regioni montnose dell' Europa meridionale colle sterminate pianure dell' Europa settentrionale; l' enorme svilnppo dell' Himalaya e degli altipiani asiatici colla immensa depressione della Siberia; le regioni del Nilo colle regioni dei deserti africani; l' America meridionale colla settentrionale.

12. Nulla di più vario dei monti seminati o aggruppati sulla faccia dei continenti. Vi hanno monti a cono acuto, a cono tronco, a aguglie, a seghe, a piano inclinato, a piattaforma, a gradinate, a pallone, e a cupola.

I diversi tipi se talora appajono isolati, talora invece si aggruppano. È notevole però, che non solo i monti presi individualmente, ma le diverse catene, presentano d' ordinario un aspetto caratteristico, dovuto al predo-

minio di certi tipi. I Pirenei, per esempio si differenziano immensamente dalle Alpi, sviluppandosi sopra una lunga linea uniforme, non interrotta per gran tratto che da impercettibili intagli. Nelle Alpi invece il particolare, secondo l'espressione di Desor, domina sull'insieme, per il deciso predominio del grandioso tipo ad aguglie. Le grandi catene americane hanno un carattere affatto speciale nell'aggruppamento degli immensi altipiani coi giganteschi coni che li sormontano. La catena del Giura si può chiamare semplicemente una serie di altipiani ondulati. Nelle nostre prealpi predominano le seghe e i piani inclinati.

13. I problemi si accumulano, se dalla forma passiamo alla considerazione della loro struttura, ancor più varia, per tanta varietà di rocce, talora semplici come il calcare, talora composte come il granito, talora aggregate come il ceppo. Varie per natura le rocce, lo sono anche per la loro disposizione o a strati o ad ammassi; per la distribuzione piuttosto sui fianchi che nel centro della catena; pel loro rapporti; pei fossili che contengono, e così via via.

14. Delle valli diremo poche parole. L'idrografia si può chiamare la negativa dell'orografia. Due grandi catene formano cogli opposti versanti una valle principale: le appendici diramantisi dalle stesse catene formano le valli secondarie: col moltiplicarsi di dette appendici, col loro ramificarsi si moltiplicano, si ramificano le valli in proporzione dell'ampiezza di ciò che chiamasi bacino idrografico.

15. Le grandi pianure costituiscono una serie parziale di accidenti di cui gioverà studiare le cause. Se il rilievo delle grandi catene si manifesta specialmente a sud delle masse continentali, si verifica a nord lo sviluppo delle grandi pianure. Al nord d'Europa troviamo la vasta pianura che dalla punta della Jutlandia, cingendo il Baltico, si spinge ai confini orientali della Germania e si continua colle steppe della Russia. Il Sahara occupa sotto diversi nomi due terzi del continente africano; è una sterminata pianura, che vince del doppio la vastità del Mediterraneo. L'Asia vanta nella Siberia una pianura di 7,000,000 di miglia quadrate, continuantesi poi colle pianure che si dilatano fino alle sponde del Njeper. I soli deserti dell'Asia occidentale sono valutati 1,500,000 miglia di superficie. Nell'America i *llanos* della Nuova Granata vantano un'estensione di 80,000 miglia quadrate, e il triplo si assegna ai *pampas* dell'Argentina. I caratteri diversi che distinguono gli sterili deserti africani dalle steppe paludose dell'Europa e dell'Asia, e queste dalle erbose pianure dell'America; i rapporti di tali pianure colla climatologia, in quanto o vi influiscono colla distribuzione del calorico o dell'umidità, o ne subiscono le influenze, abbracciando latitudini diverse (come i *pampas*

dell' Argentina che partono dalle regioni ghiacciate dell'America meridionale spingendosi in guisa verso nord che i boschi di palme ne segnano i confini); infine mille altre circostanze fanno delle pianure un soggetto tanto importante per la geologia, quanto lo sono le montagne, al cui studio volgarmente si crede sia questa scienza unicamente ordinata.

16. Una esagerazione delle pianure possono chiamarsi le depressioni, ossia quegli spazî interclusi nelle masse continentali depressi sotto il livello del mare. La più vasta è quella che comprende il doppio bacino del Caspio e dell'Aral. Quell' immenso bacino intercluso ha una estensione di 100,000 miriametri quadrati, di cui i 40,000 miriametri, occupati dal solo Mar Caspio, sono depressi 24m sotto il livello del Mar Nero. La depressione più profonda invece è quella del Mar Morto, il quale stagna a 390m sotto il livello del mare.

17. A fronte della vastità dei mari sono un nulla quei ristretti bacini che si chiamano laghi; ma presentano tipi così diversi, che di loro si preoccupò in modo speciale la geologia in questi ultimi tempi.

Le paludi non sono che pianure innondate; ma per la loro vastità, per l' attività organica che vi regna, pei depositi torbosi che vi si formano, ecc., hanno per la geologia un interesse tutto speciale.

18. Il geologo finalmente non si ferma soltanto a ciò che costituisce, per dir così, l'ossatura del grande edificio; ma, volendo ritessere la storia del globo, sente che il lato più interessante di essa è quello che riguarda quegli esseri organici a cui il maraviglioso edificio sembra destinato; quei viventi, legati alla terra e condizionati alle sue vicende continue. Soltanto collo studio dei vegetali e degli animali come sono distribuiti attualmente sulla superficie del globo, e delle grandi leggi che presiedono alla loro organizzazione, al loro sviluppo, alla loro distribuzione, potrà rendersi ragione di quel succedersi di tante flore, di tante faune diverse, cui la moderna paleontologia va di continuo disseppellendo, reliquie di tanti mondi che furono.

19. Anche l' uomo è, sotto parziali rapporti, oggetto della geologia. La comparsa dell' uomo segna per la terra un' epoca nuova: è un nuovo agente modificatore della natura che tende ogni dì a svolgere il suo predominio sugli altri. Basti il confronto tra le regioni più colte d' Europa, ove non vi ha palmo di terra, nè rigagnolo d'acqua, nè quasi pianta od animale, cui sia permesso di seguire i liberi impulsi della natura, colle regioni più selvaggie dell'America, dove tutto è sotto l'impero, come si dice, della natura vergine, a persuaderci del valore di questo nuovo elemento, che attinge la sua forza alla natura fisica del pari che a quella intelligenza, la quale aspira alla sovranità dell'universo.

Così con rapido sguardo noi ci siam posti sott'occhio la terra, quale ci si presenta attualmente. Ma questa terra, lungi dall'offrire lo spettacolo della morte e della stazionarietà, annuncia in tutti i suoi atomi la vita e il progresso. Quali sono i primarî agenti che prosiedono a' suoi moti? quali sono le cause di quei perenni rivolgimenti, di cui il globo è teatro sempre aperto, e sempre in azione?

20. Come pianeta, la terra è sottomessa alle leggi che governano l'universo degli astri. Ecco un primo ordine di forze, a cui fu assoggettato dal primo momento della sua creazione, e che debbono aver presieduto a tutte le fasi del suo sviluppo. A queste forze, che noi chiameremo uranologiche, si aggiungono altre, la cui azione non è meno universale, ma che, manifestandosi con una serie di effetti parziali, e accompagnando fin nelle più piccole manifestazioni lo sviluppo delle forze telluriche, costituiscono una categoria a sè. Le chiameremo forze cosmiche, e si riducono ai tre agenti universali, o, secondo i dettati più moderni della scienza, alle tre forme di un solo agente: *luce*, *calorico*, *elettrico*.

21. L'*attrazione universale* e l'*attrazione solare*, per cui la terra, aggirandosi rapidamente intorno al sole, lo segue nella sua marcia vorticosa attraverso il sistema astrale, esercitano attualmente sulla terra un'azione sensibile? Rammentiamo come dal moto di rivoluzione, combinato coll'inclinazione dell'asse terrestre, dipenda l'alternare delle stagioni; come dall'alternare delle stagioni dipendano tanti fenomeni del regno inorganico; e come vi siano intimamente legati lo sviluppo, e le infinite modificazioni dei regni organici. Del resto l'azione di una data forza è condizionata alla natura dei corpi sui quali si esercita. Se attualmente la massa terrestre non pare risentirsi di quei due moti violentissimi, e delle condizioni in cui può trovarsi in conseguenza, può essere che in un primo stadio del suo sviluppo ne risentisse potentemente. Se regge ancora l'ipotesi di Laplace, gradita universalmente, la terra trovossi dapprima allo stato di una nebulosa, compresa in una specie di atmosfera solare, che, divisa dappoi in altrettanti anelli, condensossi in seguito, formando altrettanti pianeti. In quello stato a quante modificazioni non potè andar soggetta la terra, per effetto immediato delle attrazioni o delle ripulsioni? Le singolari modificazioni a cui, sotto gli occhi nostri, vanno soggette le comete, ci possono dare un'idea di quelle, a cui doveva andar soggetta la terra quando, nell'ipotesi, si trovava appunto in uno stato molto somigliante a quello delle comete.

22. La forza centrifuga, che si sviluppa col *moto di rotazione*, è qualche cosa di più immediato, che non può mancare di tradursi in effetti sensibili. Supposta la terra in qualunque vogliasi condizione, si può calcolare, a tutto rigore di matematica, quali effetti debba produrre la forza centri-

fuga sopra una sfera del diametro di 12,754,796^{m}, che ruota colla velocità equatoriale di 154 miriametri all'ora.

Nessun effotto sensibile è conosciuto, che derivi immediatamente dalla forza centrifuga, per riguardo alla massa solida del globo. La cosa cammina ben diversamente se si guarda alla parte liquida della sfera terrestre, in una parola all'Oceano che si trova accumulato e come sospeso all'equatore. Snpposto che un istante cessasse il moto di rotazione, l'Oceano, che si tiene elevato di oltre 42 chilometri in confronto dei poli, dovrebbe sn loro riversarsi, finchè trovi le condizioni di un nnovo equilibrio. Supposta una oscillazione dei poli (nè mancò chi la suppose e sostenne), sicchè si stabilisse un nnovo equatore, l'Oceano dovrebbe affluirvi, finchè trovi il nnovo equilibrio volnto da quella trasposizione. Intanto dal fatto, che la stazione attuale dell'Oceano è dovuta all'eqnilibrio tra la forza centripeta e la forza centrifuga, ne deriva una conclusione importantissima.

23. Qualunque sia la causa a cui si deve l'elevazione dei continenti, la geografia ci farebbe supporre che qnella causa abbia agito a preferenza nelle regioni artiche, ove si aggruppano i contiuenti. Abbiamo però anche già osservato che il massimo rilievo dei continenti si avvera in prossimità dell'equatore. Ne consegue che lo sviluppo de' continenti nelle regioni artiche è affatto relativo e direi quasi illusorio, consistendo piuttosto in un prosciugamento, che si mantiene per l'elevarsi del mare nelle regioni equatoriali, che in un reale svilnppo dei continenti stessi, nel senso della elevazione. Infatti, tenendo calcolo dello elevazioni continentali e delle profondità marine, si può qnasi letteralmente asserire cho, cessando la forza centrifuga, tutte le regioui equatoriali rimarrebbero all'asciutto, mentre le regioni polari sarebbero coperte dal mare. Il reale sviluppo anche della massa solida del globo si avvera dunque sempre di gran lunga maggiore all'eqnatore che ai poli.

24. Questo fatto, dopo quello della forma ellissoidale del pianeta, ci solleva già nella mente il dubbio (per altri già levato a certezza) che lo sviluppo anche della massa solida, in fine la disposizione, la forma di tntta la massa terrestre, dipendano anzitutto dalla forza centrifuga. Bisognerebbe qnindi supporre che la terra si trovasse un giorno allo stato liquido, stato a cui del resto possono infatti ridursi tutti gli elementi terrestri per effetto del calorico. Gli studî geodetici rilevarono tali irregolarità, che lo sferoide terrestre non si può dire presentare realmente un' *elissoide di rivoluzione*, cioè un sistema di curve regolari alla superficie, e un centro di figura come sarebbe il caso di una massa liquida, rotante sopra sè stessa. Convien tuttavia riflettere, che la forma supposta esige la perfetta omogeneità del liquido rotante, nessun distnrbo di forze estranee, ecc.;

condizioni che non potevano avverarsi per la terra, composta di elementi così diversi, e in balía di tante forze tendenti ad elidere, o almeno a modificare l' azione della forza centrifuga. La forma della terra, supposta la sua primitiva fluidità, dovrebbe essere la risultante della forza centrifuga e di tante altre interne ed esterne, di cui non credo possa la scienza tenere ancora un conto esatto. Sembrami dunque bastare, che la forma della terra sia, come lo è difatti, prossima a quella di un elissoide di rivoluzione, perchè il geologo possa già ammettere come assai probabile ciò, che darebbe ragione dei fatti principali riguardanti la forma terrestre, la distribuzione dei continenti o dei mari, ecc. Ho voluto dar luogo qui tra i preliminari a ciò che dovrebbe figurare tra i corollari ultimi della geologia, perchè vedremo quanto la geologia positiva sia ancor lontana dalla scoperta dei criteri per stabilire in qualche modo un fatto, che dovette precedere di troppo quelli che essa realmente sancisce.

25. La *forza centripeta* è altra delle condizioni di tutti i fenomeni tellurici. Tutte le sostanze terrestri, gravitando dall' esterno all' interno, esercitano una pressione la quale, se diminuisce per le singole porzioni della massa del globo, in ragione della vicinanza di esse al centro della terra, cresce pel cumulo di tutte le pressioni, che si risolvono in una pressione crescente colla profondità, e che deve essere enorme al centro. Già si può prevedere, che la considerevole sproporzione tra la densità esterna ed interna del globo debba da lei immediatamente ripetersi.

26. Specialissima alla terra è l'*attrazione lunare*. Quantunque il nostro satellite non vanti che $^3/_{11}$ del diametro, e $^1/_{49}$ circa della massa della terra, il difetto della massa è supplito dalla vicinanza (60 volte il raggio terrestre), per cui la luna è quella che esercita sulla terra l' azione più sensibile nei fenomeni di attrazione. Il punto diretto di attrazione trasportandosi successivamente sui diversi meridiani, tende a mantenere, per dir così, la terra in continuo moto, a modificarla incessantemente. Ha dessa un' azione sensibile sulla parte solida del pianeta? Nulla finora ce ne rendo accorti. Ma anche qui richiamo l' ipotesi della primitiva fluidità del globo: ed ecco una di quelle forze che dovevano continuamente turbarne l' equilibrio, ed esercitare una grande influenza in quell' assetto, che andavan pigliando le sostanze nel loro consolidamento. L'azione della luna appare invece immediata, evidentissima, sulla parte liquida nel fenomeno delle maree [1].

[1] Nella mie *Note ad un corso di geologia* attribuiva dell' importanza anche alle maree atmosferiche. I fisici invece pajono d' accordo nel ritenere che gli effetti della attrazione, quindi i flussi e i riflussi, debbano indebolirsi in ragione della densità del fluido. Del resto le dette *maree atmosferiche*, di cui si occupano i metereologisti, sono conseguenze di squilibri di temperatura, e si legano specialmente all' azione calorifica del sole.

27. Ho detto in qual senso si distinguano, dalle forze generali che governano il globo come pianeta, quelle che, vantando non meno universale dominio nella cosmologia, si possono considerare più limitatamente come base di tutti i fenomeni che hanno luogo sulla terra. A queste forze noi riservammo l'appellativo di cosmiche. Il geologo le riconosce come base e condizione dei fenomeni tellurici, il cui esame forma l'oggetto speciale della dinamica terrestre. — Il seguente prospetto spiega ciò che intendo per forze cosmiche:

- Forze cosmiche
  - Fisiche
    - Proprietà dei corpi
    - Agenti fisici
      - Luce
      - Calorico
      - Elettrico
  - Chimiche
    - Affinità
    - Proprietà dei composti
  - Meccaniche - Moto.

28. Le proprietà dei corpi sono o ingenite o acquisite, secondo la distinzione dei fisici. Le prime, piuttosto che come forze agenti nelle diverse modificazioni del globo, sono condizioni perchè ne subisca l'azione. Le modificazioni del globo, non essendo altro che variazioni del modo d'essere delle diverse sostanze che lo costituiscono, non potrebbero aver luogo, se i corpi non fossero porosi, compressibili, elastici, divisibili, ecc. La porosità e la compressibilità sono, p. e., due condizioni al prodursi di grandiosi fenomeni che interessano sommamente la geologia. Le infiltrazioni, la circolazione sotterranea delle acque, la petrificazione, ecc. dipendono dalla porosità. Le contorsioni degli strati, la schistosità, ecc., richiedono la compressibilità. Le proprietà acquisite sviluppano invece certe attività particolari nei diversi corpi, posti nelle diverse condizioni. Altro, p. e., è il modo di agire dell'acqua allo stato solido; altro quello dell'acqua allo stato liquido od aeriforme. Un pezzo di ferro, che non produrrà nessuna azione nel suo stato normale, diverrà invece attivissimo, se incandescente pel calorico, o attraente pel magnetico.

29. La *luce*, agente potentissimo, pe' suoi effetti fisici, chimici e fisiologici, è da calcolarsi nella risoluzione dei problemi geologici più dilicati. I fisici, scomponendola ne' suoi raggi chiari, oscuri, chimici, non hanno fatto che dimostrare quanto sia moltiforme ne' suoi modi di operare, e ne' suoi effetti, questo primario fattore della vita dell'universo. Come annerisce il protocloruro di mercurio od il cloruro d'argento, come scolora la maggior parte delle sostanze, e come è un elemento che opera così visibilmente in tante combinazioni chimiche; così può avere esercitato una grande influenza sull'aspetto e sulla composizione dei corpi terrestri in

tntte le epoche del globo. Al modo stesso che ha tanta azione sui vegetali, aicchè basta loro concederla o sottrarla, perchè sia totalmente trasformato il loro modo di respirazione; così può aver preso gran parte alle mirabili trasformazioni delle faune e delle flore nelle epoche andate.

30. Che dire del *calorico* (considerandolo ancora come distinto dalla luce), il quale presiede a tutte le metamorfosi, ed è condizione assoluta dello sviluppo, in tutte le loro fasi, tanto del regno inorganico quanto dei regni organici?

Lo spazio, entro cui si aggirano gli astri, è considerato dai fisici come estremamente freddo. Non è dunque in condizione di dare, ma di ricevere calorico. Ponillet gli assegna una temperatura di — 140°. C'è da affogarvi tutto il caloro dei mille soli che splendono nel firmamento. Questi, cioè le stelle; versano sulla terra, secondo Ponillet, tanto calore, quanto basterebbe a fondervi annualmente uno strato di ghiaccio, dello spessore di 26 metri. Ma quel calore è sparso troppo uniformemente, per essere percepito. Principale sorgente del calore terrestre esterno è il sole. Basta a sciogliere annualmente uno strato di ghiaccio, dello spessore di 31 metri. Il calore solare, per la posizione della terra sulla eclittica, varia assai, secondo le latitudini, e, nella stessa latitudine, secondo la stagione.

Dall' isola Melville, dove il termometro discende a — 35°, a Masfaonn nell'Abissinia, dove segna + 38° nel settembre, abbiamo un'ascensione di 73 gradi. Quindi le nevi eterne dei poli e delle Alpi, le tepide aure del Mediterraneo, le sabbie bollenti del Sahara.

Ma la scala termometrica non si svolge soltanto nel senso delle latitudini. Si calcola, con larga approssimazione, che il termometro discende di 1° per ogni 165 metri di ascesa sopra il livello del mare. Humboldt, che, al livello del mare sotto la zona torrida, aveva trovato una temperatura di + 27°,5, non ebbe che + 1°,5 a una elevazione di 5000^m. In altra esperienza la vetta del Chimborazo segnava — 1°,6, mentre l' Oceano alle sue falde indicava + 25°,3. Così l' areostata di Gay-Lussac trovò — 9°,5 a 6979^m sopra Parigi, dove intanto si notavano + 30°, 8. Un' altezza di 7000^m equivarrebbe dunque, in media, alla differenza di 70° di latitudine: il che vuol dire che l' elevazione può trasportare, e trasporta, sulla zona torrida il clima de' poli.

31. Varie sono le sorgenti di calore. La principale esterna è il sole. La terra ha pure un calorico proprio, assai intenso all'interno, come dimostreremo, ma il cui effetto all'esterno è quasi impercettibile. Se il calore solare, attenendoci a Pouillet, basta a liquefare annualmente uno strato di ghiaccio, esteso quanto la superficie del globo e dello spessore di 31^m; il calorico irradiato dall' interno non ne potrebbe sciogliere che lo spessore di 0,0065,

almeno nei dintorni di Parigi, secondo i calcoli di Élie de Beaumont. Se poi si ammette che (partendo da un certo punto ove s'incontra lo strato a temperatura costante), quanto più ci sprofondiamo verso il centro della terra, tanto più si aumenta il calorico interno; può immaginarsi quanta attività chimica debba animare tutti gli elementi, che costituiscono la massa interna del globo. Anche alla sua superficie una grande attività chimica deve tenere in continuo movimento i diversi elementi quali sommamente diatermici, quali adiatermici. L'aria, p. es., assai diatermica, permette che il calorico solare venga, con tutta la forza dei suoi raggi, a ferire la superficie della terra. Ma gran parte di essa superficie è coperta dall'acqua, corpo poco diatermico; per cui, in confronto, minima deve essere l'azione del calorico sul fondo dei mari. Per conseguenza quanta varietà di fenomeni! In fine il calorico è come la vita, che penetra e circola nel globo, animandone le molecole tutte: ossidazioni, combustioni, combinazioni d'ogni genere, un continuo dilatarsi, contrarsi, oscillare, e questo sotto enormi pressioni, in circostanze diversissime, tutto mantiene il globo in un movimento, in un quasi parossismo continuo, che si traduce in una successione indefinita di modificazioni. Che dire, ripeto, dell'importanza dell'agente calorico nei fenomeni tellurici, se, non ogni movimento soltanto, come è dimostrato, ma ogni fenomeno, ogni lavoro può rappresentarsi con un equivalente di calorico, che vi si consuma?

32. Ecco come in tutti i quesiti da sciogliersi dovrà la geologia tener calcolo del calorico, come di un dato primario per la soluzione. Il passato, il presente, l'avvenire del globo, tutto si lega allo svolgimento di questo primario agente.

Uno dei quesiti principali che si propone la geologia è quello appunto dell'effetto della irradiazione terrestre nello spazio. La temperatura dello spazio è bassissima, calcolandosi da — 18° a — 140°. Quale modificazione apportò alla terra la irradiazione che si opera da tanto miriadi di secoli? Quale apporterà in progresso la stessa irradiazione, continuandosi ancora un tempo indefinito? Vuolsi che effetto della irradiazione sia il consolidamento primitivo della terra; vuolsi ancora da alcuni, che un tale raffreddamento continui così, che la terra debba trovarsi un giorno totalmente solidificata; vuolsi da altri che sia stabilito l'equilibrio tra l'irradiazione del calorico e l'assorbimento che la compensa. Sono problemi di cui la geologia deve occuparsi.

Per ultimo riflesso, ricorderemo l'importanza del calorico per rapporto all'organismo ed alla vitalità. La geologia e la paleontologia, nel rendersi ragione della successione e della estinzione di tante flore o di tante faune, dovranno tener stretto calcolo delle condizioni del calorico,

corrispondenti alle diverse condizioni, in cui trovossi il globo nelle sue continue rivoluzioni.

33. Parlando dell'*elettricità* dovremo ripetere, con poche modificazioni, quanto dicemmo del calorico. Tutte le sostanze sono capaci di elettrizzarsi positivamente o negativamente; onde una nuova vita in tutti gli elementi terrestri. Per comprendere quanta parte abbia l'elettricità nell'economia del globo, basti il dire, che la terra è considerata come una grande pila voltaica.

Secondo Maury, le coppie di questa pila immensa sono la terra e il mare, circondati dall'atmosfera, quasi da armatura naturale: questa, eccitata sotto i tropici dalla immensa batteria naturale, elettrizza alla sua volta l'ossigene, a cui sono da attribuirsi le proprietà magnetiche dell'atmosfera.

Le esperienze di Pouillet possono rendere definito un po' meglio, almeno fino a un certo punto, questo concetto. Risulta da esse, che i corpi sviluppano elettricità nell'atto che si combinano. Il fenomeno è ben determinato nei diversi casi di combinazione dell'ossigene, nei fenomeni cioè di ossidazione, combustione, acidificazione. L'ossigene sviluppa elettricità positiva; mentre i corpi, con cui si combina, la sviluppano negativa. Si intende tosto, come i rapporti tra l'atmosfera, che presta continuamente l'ossigene, e la superficie del globo, ove i processi della combustione, della ossidazione, della acidificazione, costituiscono un grande fenomeno complessivo e universale, non si possono stabilire senza sviluppo e squilibrio incessante di elettricità. La produzione del gas acido carbonico, p. e., sulle smisurate superficie coperte di vegetali, vivi o morti o putrescenti, è un caso parziale di combinazione tra l'ossigene e il carbonio; ma è già egli stesso un fenomeno così universale, che basta da solo a dar ragione di un continuo squilibrio di elettricità, dipendente da una continua reazione tra i continenti e l'atmosfera. Ma una reazione nello stesso senso si opera tra l'atmosfera e l'altra parte, che è la massima, della superficie del globo, la superficie marina. Le esperienze accennate provano che l'evaporazione delle soluzioni saline (e tali sono l'acqua del mare in grado eminente, e più o meno anche le acque dolci) succede con sviluppo di elettricità. I vapori, che si sviluppano, sono elettrizzati positivamente; mentre le acque restano elettrizzate negativamente[1]. Ecco dunque costituita una gran pila voltaica. Mentre l'atmosfera si carica continuamente di elettricità positiva, sulla superficie della terra, asciutta o bagnata, si ac-

---

[1] MARMOCCHI, *Corso di geografia universale*, Vol. III, pag. 89.

cumula la negativa. In fatti l'aria, sempre quando è serena, e ordinariamente quando è nubilosa, è elettrizzata positivamente. Talvolta però l'aria nubilosa si elettrizza negativamente. Aggiungi a riprova, che l'aria si trova più elettrizzata sotto la zona torrida, che sotto le temperate: e così dev' essero naturalmente, essendo più attivi nella prima che nelle seconde l'evaporazione, la fermentazione, la vegetazione, ecc.

Del resto non v'ha movimento, non v'ha fenomeno, che non sia accompagnato da sensibile squilibrio di elettricità. Gli effetti della pila, le fusioni, le decomposizioni, le trasposizioni, non sono altro che esperimenti pratici di quella attività, che eccita e modifica continuamente tutte le particelle più sottili del globo. In pari tempo gli effetti fisiologici, prodotti dalla pila stessa, mettono in chiaro la potenza della elettricità sull'organismo e sulla animalità.

34. Conchiudendo circa l'importanza dei così detti fluidi imponderabili, si può asserire che nei molteplici fatti, messi in evidenza dalla fisica, stanno i germi di una nuova geologia. Non appartenendo a noi il trattare la questione dell' identità di questi fluidi, ormai dimostrata dai fisici, ci basti l'osservare, come essi si trovino indissolubilmente associati, nella produzione dei fenomeni terrestri, a quel modo stesso che vediamo la pila essere ad un tempo sorgente di luce, di calorico, di elettricità. Io penso che nella pila stia la chiave della dinamica terrestre. La circolazione atmosferica e la circolazione dei mari, quindi l'evaporazione, le pioggie, i climi, sono probabilmente effetti del magnetismo, come certamente lo sono del calore. Faraday scoprì la magnetizzazione dell' ossigene. Quetelet mostrò nella parte superiore dell'atmosfera un grande serbatojo di elettricità: secondo una recente teoria, il sole è la principale sorgente del magnetismo. Maury con sintesi profonda già volse le leggi, che governano l'azione del calorico e dell'elettrico, alla spiegazione di quel grande sistema d'economia del globo, che si intrattiene colla doppia circolazione dell' atmosfera e del mare. Tradotti così i grandi elementi cosmici in una serie di fenomeni tellurici, che passeremo successivamente in rassegna, ci sarà più agevole misurarne con sguardo retrospettivo la potenza.

35. Avendo costituito delle *forze chimiche* un ordine a sè, non intendiamo dire che la chimica riveli realmente dei nuovi agenti. Tutto invece ci porta a credere che l'azione della luce, del calorico e dell'elettrico, in concorso colle diverse proprietà ingenite, o meglio colla diversa natura delle sostanze elementari, sia quella che dà luogo alla splendida serie dei fenomeni della chimica. Le materie, per sè stesse inerti, acquistano, sotto l'impulso di quegli agenti, e secondo la loro diversa natura, una attività, che li mette reciprocamente in azione; sicchè a vicenda o si attraggono

o si repellono, onde la continua produzione di mille composti e la scomposizione di altri mille. È una vicenda che intrattiene continuamente la vita del globo, modificandone assiduamente la costituzione. Richiamerò alla vostra mente soltanto i tre fatti principali che all' occhio del geologo rivelano la possibilità di mille vicende nell' ordinamento del globo, governate tuttavia da leggi imprescrittibili: 1. Le sostanze dette elementari si combinano costantemente fra loro in proporzioni multiple; 2. I composti presentano caratteri affatto speciali, donde lo sviluppo d'una nuova e speciale attività; 3. Tutti gli elementi, posti in circostanze di attrarsi liberamente, si dispongono fra loro in certi determinati modi, assumendo forme regolari, che diconsi cristalli. La geologia, che si occupa delle rivoluzioni del globo, le quali consistono essenzialmente in altrettante variazioni nella disposizione de'suoi materiali elementi, può così, dalla attuale loro disposizione, assorgere alle cause che l' hanno prodotta.

36. Le forze meccaniche si traducono per noi nella semplice parola *moto*, conseguenza di tutti gli agenti che operano in natura. Il moto è una forza positiva, che si bilancia con quella forza negativa che si chiama *inerzia*, rappresentando, in una lotta continua, che intrattiene tutti gli atomi dell' universo, l' uno la *potenza*, l'altra la *resistenza*. Il moto d' una molecola qualunque, che vibra per l' effetto del calorico o dell' elettricità, si trasfonde alle molecole circostanti e da quelle a tutta la massa del globo.

Gli effetti accumulati, ossia i movimenti impressi alle grandi masse, trasmettendosi con quelle leggi invariabili, di cui ci istruisce la meccanica, danno luogo a quei fenomeni maravigliosi, a quelle imponenti catastrofi, capaci di cambiare in un istante la faccia di un'intera regione. Un terremoto è, secondo l' esperienza nostra, la più imponente manifestazione di questa forza, messa in giuoco da agenti occulti nell' interno del globo; ma ci si sveleranno in progresso altre manifestazioni assai più poderose, benchè meno imponenti, capaci di mutare, se non repentinamente, gradatamente la faccia della terra. Non c'è bisogno del resto di far riflettere quanto io abbia voluto sintetizzare, riducendo tutta l' espressione delle forze, che agiscono meccanicamente sulla terra, alla semplice parola *moto*. Considerate la terra come una macchina complicatissima se si guarda alla moltitudine ed alla varietà degli ordigni, semplicissima invece se si guarda allo scopo a cui è ordinata. Se da una parte si verificano tutte le condizioni della statica e della dinamica di cui si occupa la meccanica, dall'altra si avvera l' applicazione come forza motrice di tutti quegli elementi che si impiegano praticamente come motori. Movimenti varî o uniformi, pressioni, tensioni, diverse condizioni di equilibrio, applicazioni di forze in diverse direzioni, resistenza, attriti, trasmissioni di movimenti, rapporti fra

loro di solidi, di liquidi, di gas in movimento, ecc. Principali forze motrici, applicate dalla meccanica come dalla dinamica terrestre, l'acqua, l'aria, il vapore, l'elettricità, e, in modo mirabile, le forze fisiologiche.

37. In questo schizzo delle forze primarie noi abbiamo voluto gettare un semplice sguardo di rassegna su quelle forze, che sono i primi moventi dei sistemi messi in campo per mantenere il globo in continua rivoluzione, e i primi postulati della dinamica terrestre. Queste forze sono, per dir così, per rapporto al sistema dinamico del globo, quello che le macchine elementari per rapporto a un grande stabilimento, ove funzionano tante macchine complicatissime, coordinate alla produzione di un dato lavoro. Quelle forze primarie noi le passammo in rivista, senza troppo occuparci di studiarle in sè stesse, di indagar la natura, il processo dell'azione, e gli effetti che immediatamente e isolatamente producono. Questo lavoro appartiene alle scienze, che precedono la dinamica terrestre, e sono principalmente l'astronomia, la fisica, la chimica e la meccanica. La dinamica terrestre trova questi, direi, ordegni elementari, applicati alla costruzione di grandi macchine parziali, la cui associazione, in mutua dipendenza, e collo stesso intento finale, costituisce quello che si chiamerebbe impianto attivo del globo, e si traduce in un lavoro senza fine, di cui questa scienza si occupa. L'atmosfera, i fiumi, i mari, i vulcani, ecc. sono quelle macchine parziali, che la natura tiene in moto continuamente o all'esterno o all'interno pel compimento di tale lavoro. Cominciamo a conoscere l'impianto parziale, e il parziale lavoro di quella macchina tellurica che si può dire la più universale, l'*atmosfera*.

CAPITOLO II.

CIRCOLAZIONE ATMOSFERICA.

38. L'atmosfera è fra gli agenti terrestri, appartenenti alla classe degli esogoni, quello la cui azione è più universale. Teatro delle più potenti meteore, la sua azione può rendersi sensibile su qualunque punto della superficie terrestre. Comprendiamo il complesso di tali azioni sotto il nome di *azione meteorica.* Un oceano dell' altezza di forse 80 miriametri, composto di fluidi elasticissimi, soggetti a squilibrarsi ad ogni oscillazione di temperatura, ad ogni scintilla di elettricità, deve esercitare un'azione immensa, proporzionata del pari all' attività dell' agente che all' estensione della superficie a lui soggetta.

39. Quando io scriveva le mie *Note ad un corso di geologia,* pubblicate nel 1865, poteva mietere nelle opere di Maury[1] come in campo vergine. Ora trovo che le teoriche di quell' autore sono abbastanza divulgate, e che anche gli scienziati, d' ordinario gli ultimi ad apprezzare, e fors' anche a conoscere le idee nuove, sembrano disposti a farne caso, non fosse altro che per combatterle. Io non voglio attribuirmi nessun merito in ciò; ma, se i miei scritti hanno contribuito a divulgare e far apprezzare in Italia, forse più che altrove, le idee di Maury, voglio tenermi assai pago dell'opera mia. Più ci ripenso, e più trovo che le idee di Maury sulla circolazione dell' atmosfera e del mare sono di una fecondità inesauribile, sono per la geologia i più grandi portati moderni delle scienze fisiche. Lo vedremo nelle quistioni, così importanti, eppure così disparate, dei climi geologici.

40. Tutto il mondo sa che, per effetto del calore, l'aria si dilata: che dilatandosi si fa più leggera; che resa più leggera si alza, o viene imme-

[1] Le opere di Maury che sono in mie mani, e a cui attingo ciò che vi ha di più fondamentale per le teoriche della circolazione dell' atmosfera e de' mari, sono: *Explanations and sailing directions to accompany wind and current charts.* Seventh Edit., Philadelphia, 1855. — *Géographie physique de la mer.* Paris, 1861.

diatamente rimpiazzata dall'aria circostante, più fredda e pesante. Partendo da questo semplice fatto, chicchessia arriverebbe, senza bisogno di altre esperienze, ad ammettere *a priori* che, le condizioni di temperatura, mantenendosi costantemente varie tra le diverse latitudini del globo, obbligano l'atmosfera a tenersi in continuo movimento. Poco ci vuol quindi a trovare ugualmente *a priori*, che, essendo il sole la primaria sorgente del calore esterno, il sistema dei movimenti atmosferici avrà per prima base i rapporti di posizione tra l'atmosfera e il sole. Camminando con eguale passo, s'arriva presto finalmente a conchiudere, che il sistema dei movimenti atmosferici deve derivare, come da punto di partenza, dall'equatore, o, per tenerci entro più larghi confini, dalla zona torrida, dove si esercita col massimo vigore il primo movente, il sole. L'aria riscaldata deve levarsi continuamente sull'equatore; l'aria che trovasi a nord e a sud dell'equatore dovrà continuamente discendere per rimpiazzarla. Ma questa continuamente si riscalda, come quella continuamente si raffredda; il movimento dell'aria che ascende e discende, che va e viene, seguendo la risultante di un moto verticale e di un moto orizzontale, non dovrà cessare finchè non cessa il sole. Avremo in fine un sistema di perenne circolazione.

41. C'è modo di imitare artificialmente in piccolo questo supposto sistema di circolazione atmosferica: anzi i nostri appartamenti lo realizzano ogni volta che esista un ambiente riscaldato in communicazione con un ambiente freddo. La fig. 1 presenta lo spaccato di un appartamento, ove una camera, riscaldata da una stufa, è in communicazione, per mezzo dei rispettivi usci, con due camere laterali non riscaldate. Eccovi un fac-simile del globo, ove la zona equatoriale figura come la stanza di mezzo, ove arde la stufa, in communicazione colle regioni polari, che sono le due camere non riscaldate. Una circolazione deve verificarsi nel grande appartamento naturale, come nel fac-simile artificiale. Possiamo vedere intanto come si opera in questo. Piglio dunque un lume acceso, e, messomi tra il vano di uno degli usci, alzo il lume fin presso all'architrave: la fiamma si piega e dardeggia verso l' ambiente freddo, spinta da un soffio incessante che spira dalla camera riscaldata. Poi abbasso lo stesso lume, e lo poso sulla soglia: la fiamma si piega, e vibra, in direzione contraria alla precedente, verso la camera riscaldata. Due correnti si scambiano adunque tra l' ambiente caldo e l'ambiente freddo: una corrente superiore e calda che esce, e una corrente inferiore e fredda che entra. Vi è adunque una circolazione nel senso che vuole la fisica, nè mi fermo a dimostrarla, trattandosi di cosa evidente e da tutti ammessa. Accennerò piuttosto a un fenomeno particolare che si verifica nell'esperimento, e non è conosciuto, o almeno non apprezzato sufficientemente.

42. Il punto più alto dove la fiamma si piega verso l'ambiente freddo, come il più basso dove si ripiega nel senso opposto, sono anche i punti ove la fiamma vibra con violenza maggiore, ove pertanto le correnti sono più

Fig. I. Circolazione dell'aria tra un ambiente caldo e due laterali freddi.

forti. Calando o alzando il lume verso un punto medio, tra l'architrave e la soglia, la fiamma accusa un progressivo indebolimento delle correnti, finchè la fiamma stessa, nel punto medio, si rizza immobile, accennando la calma più perfetta. Qual è la ragione di questa calma? Ognnn vede che il punto medio, ove la calma succede, è precisamente il punto in cui avvieno lo scambio dello due correnti, le quali, appartonendo allo stesso circolo, non essendo che tronchi della stessa corrente circolare, devono avere approssimativamente l'ugualo potenza, l'ugnale spessore, e occupare ciascuna una metà del vano dell'apertura. Quel punto medio è dunquo ove le correnti si toccano, e le molecole, movendosi in senso contrario, devono, pel mutno attrito, arrestarsi, o mnoversi soltanto con estrema lentezza. Ecco la ragione di quella calma. Noi ne deduciamo tosto un principio di somma importanza, como vedremo, per la teoria della circolazione atmosferica. — Ogni volta che succede l'incontro di dne correnti d'aria, che si movono in senso opposto l'una dell'altra, si deve verificare la calma, sulla linea o sul piano in cni succede l'incontro. È inutile l'avvertire che il fenomeno, verificato per una apertura che mette in communicazione dne ambienti a temperatura diversa, si verifica ugualmente per qualunqne altra apertura che risponda alle condizioni volnte, come è il caso dei due usci opposti nel diagramma qui sopra.

Le frecce indicano in qualche modo i limiti delle correnti superiori e inferiori, e il punto di contatto, o meglio di urto, delle superiori colle inferiori.

43. Se l'atmosfera si comporta realmente come sembra voluto da quella facile esperienza, il sistema dei venti dovrebbe ripetere in grande il sistema delle correnti aeree che si scambiano nell'appartamento da noi ideato. Dovremmo trovare che sull'equatore l'aria si alza verticalmente: dovrebbe quindi, divisa in due correnti superiori, correre orizzontalmente a destra e a sinistra, verso gli opposti poli: due correnti fredde, due veri venti inferiori, sensibili alla superficie della terra, dovrebbero invece accompagnarci dai due poli all'equatore: una sfera di calma dovrebbe dividere i venti superiori dagli inferiori. Eppure non è così. Di quel sistema noi ci accontenteremmo di poter verificare soltanto quei tratti che si possono verificare direttamente, stando sulla superficie del globo. Ma nemmeno questi si verificano.

44. Dal 30° di latitudine, sia della parte di nord sia della parte di sud, spirano due venti costanti verso l'equatore: sono i venti alizei, che formano due correnti le quali scorrono senza interruzione come il Mississipì, come il Rio delle Amazzoni. Perchè l'atmosfera, che tanto a nord quanto a sud alimenta quelle due correnti, non si esaurisca, è necessario che una controcorrente vi rimetta continuamente quell'aria che è derivata dagli alizei. La prima cosa che si presenta alla mente è questa, che tra le regioni polari e le regioni equatoriali vi sia lo scambio dell'atmosfera, a quel modo stesso che succede lo scambio dell'aria tra due ambienti a temperatura diversa. In questo caso l'aria fredda, che scorre dai poli verso l'equatore come corrente inferiore, sarebbevi ricondotta da una corrente calda superiore. Il fatto però si oppone a tale semplicissima spiegazione. Nel caso supposto infatti i venti alizei dovrebbero partire immediatamente dai poli, e regnare sopra tutte le regioni comprese tra l'equatore e i circoli polari. Invece, come abbiamo già detto, i venti alizei nascono sotto il 30° di latitudine nord e sud; oltre il 30°, andando verso i poli, si incontrano, nell'uno e nell'altro emisfero, due zone conosciutissime di calma, passate le quali si cade sotto due venti che soffiano in senso opposto agli alizei, dirigendosi rispettivamemte verso il polo artico o verso l'antartico, contraddicendo così assolutamente a ciò che sembrava stabilito in base all'esperienza. In ciascun emisfero adunque si verificano due correnti dirette in senso opposto, ma entrambe inferiori e intercalate da una zona di calma. L'aria dovrebbe dunque accumularsi egualmente sull'equatore e sui poli, rimanendo nel mezzo un vuoto. Siccome ciò non avviene, deve esistere un sistema di controcorrenti che rimetta l'aria là dove essa si

diparta, o la tolga dove si accumuli. La teoria di Maury risponde a tutte le esigenze. Eccola.

45. Oscillante sulla linea dell'equatore si verifica una zona di calma: è su questa zona che il sole, all'apogeo della sua forza, obbliga l'aria ad un movimento continuo di ascensione. Nel vuoto, che incessantemente tende a prodursi, deve precipitarsi l'aria lateralmente. La perpetuità dei venti alizei troverebbe già una più che sufficiente spiegazione, se si considerassero isolatamente. L'aria, ascesa sull'equatore alle più alte regioni atmosferiche, deve riversarsi verso i poli, trattavi dal vuoto, il quale è una conseguenza immediata dei venti alizei. Fin qui siamo con ciò che poteva stabilirsi *a priori*. Ma quell'aria, in luogo di portarsi direttamente ai poli, come corrente superiore, non percorre che un certo tratto come tale, giungendo così soltanto alle due zone di calma tropicali di cui abbiamo accennata l'esistenza. Per semplificare l'esposizione della teorica prendiamo una sola molecola *A* nel diagramma presente, fig. 2, ove le zone vuote rap-

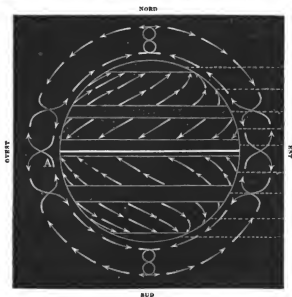



Fig. 2. Circolazione atmosferica secondo il sistema di Maury.

presentano le calme, e le altre i venti inferiori, la cui direzione è indicata dalle frecce, mentre il serpeggiamento di frecce attorno al disco segna l'ascendere, il discendere, lo scorrere e l'incrociarsi dei venti supe-

riori e inferiori, secondo il sistema di Maury. Quella molecola di aria, levatasi alta sull'equatore, scorre verso il polo artico fino alla regione delle calme del Cancro. Là si incontra con un'altra, che viene dal polo, seguendo una corrente superiore opposta: le due molecole urtandosi, il loro movimento è eliso, ed ecco la calma. La prima molecola, in luogo di continuare la sua via verso il polo, precipita verso la superficie della terra, ripigliando poscia il suo cammino verso il polo artico come corrente inferiore. Il polo diviene così un punto di ritrovo per tutte le molecole che, eseguendo gli stessi movimenti o affluendo da tutta la superficie sferica della terra, si incontrano, con reciproca elisione di moto, che deve dare origine ad una regione di calme polari, la quale però non fu finora raggiunta. L'urto delle molecole ai poli deve produrre una specie di turbine ascendente, per cui sono levate di nuovo le molecole nelle alte regioni dell'atmosfera. La nostra molecola, involta in questo turbine, si alza e ripiglia il suo cammino come corrente superiore verso l'equatore. Un nuovo urto nelle calme del Cancro; e la nostra molecola si ripiega verso la superficie terrestre a continuarvi il suo cammino verso l'equatore come corrente inferiore, ossia sotto forma di vento alizeo. Giunta all'equatore si eleva, come quando la vedemmo partire pel suo viaggio verso il polo artico; ma qui avviene, secondo la teorica di Maury, un fatto ben singolare. In luogo di dirigersi verso il polo artico, si rivolge invece verso l'antartico. Di nuovo un urto sulle calme del Capricorno, di nuovo un ripiegarsi verso terra ad alimentare il vento che spira inferiormente verso il polo antartico, dove si leva per ritrovare, per opposta via, le calme del Capricorno e ritornare, sotto forma di alizeo sud, all'equatore, compiendo così il giro del globo da un polo all'altro, per ricominciarlo le mille volte da capo. Maury trova di potere esporre in un modo breve e semplicissimo la sua teorica, a prima vista complicatissima, con questo semplice versetto dell'Ecclesiaste[1]: « Si avanza verso mezzodì, e poi piega verso settentrione; si volge così il vento in giro all'universo e si ritorce in un circolo senza fine. »

46. La esposta figura riassume perfettamente tutto il sistema. I campi dell'aria sono, come il disco della figura, divisi in nove zone, tanto superiormente, quanto inferiormente. Noi ci abbiamo, tanto alla superficie della terra, quanto nelle supreme regioni dell'atmosfera, quattro zone di venti, alternanti con cinque zone di calma. Ma i quattro venti superiori camminano in direzione opposta ai rispettivi inferiori che soffiano nella stessa zona. Le calme invece, levandosi verticali, si trovano identiche alla

[1] C. I, v. 6.

superficie della terra, quanto nelle regioni superiori. Queste calme sono attraversate dai venti inferiori, nell'atto che divengono superiori, e da questi, mentre divengono inferiori, mediante un triplice sistema di incrociamenti: due incrociamenti tropicali, dove gli alizei superiori, o controalizei, che vanno ai poli, si incontrano coi venti polari superiori che discendono all' equatore: un incrociamento sull' equatore, ove gli alizei inferiori si danno la muta, per trovarsi ciascuno al polo opposto a quello d'onde è partito. Così l'aria si rimuta continuamente da emisfero a emisfero.

Il sistema di Maury in parte è basato sui fatti, in parte è dedotto da essi. Resta a vedere se la parte dedotta lo sia a tutto rigore di logica.

47. Prima però d' inoltrarci nell'analisi di questo sistema, abbiamo bisogno di rischiarare un fatto, e stabilire un principio di somma importanza. Il sistema della circolazione atmosferica, come poteva supporsi rudimentalmente, stando alle leggi della fisica, e come è delineato, con maggiori o minori complicazioni, tanto da Maury, quanto dagli altri metereologisti (p. es. Marié Davy), ammetto come fatto fondamentale il continuo scambio dell'aria tra l'equatore e i poli, e i poli e l'equatore, per effetto del sole che riscalda l'aria sull'equatore. Una molecola, che si levi sull'equatore, dovrebbe portarsi al polo per la via più breve, quella del meridiano, sul quale si trova: dovrebbe quindi spirare come vento sud quando si dirige al polo artico, e come vento nord quando ne ritorna. Lo stesso si ripeta, scambiati i termini, per la molecola che si volge al polo antartico, e ne ritorna. Ammessi pure tutti gli incrociamenti possibili, i venti dovrebbero pur sempre descrivere un sistema di correnti che vanno o vengono seguendo i cerchi meridiani. Il fatto è in contraddizione colla teorica. Osservando anche soltanto gli alizei, i quali rappresentano in tutti i sistemi le correnti di ritorno dai poli, troviamo che spirano obliqui ai piani meridiani. Il vento che dovrebbe spirare come nord, soffia come nord-est; e quello che dovrebbe giungerci da sud, arriva come sud-est. Gli alizei, in luogo di seguire i meridiani, seguono approssimativamente la diagonale tra i meridiani e i paralleli. Vedremo come il fatto si ripeta per tutte le correnti normali, superiori e inferiori.

48. Il fatto lo si trova tuttavia tanto semplice quanto necessario, quando si consideri che le correnti atmosferiche sono costituite da molecole libere, che scorrono sulla superficie di una sfera rotante, da cui sono tuttavia attratte. Subiscono dunque due forze: una che le spinge a rotare colla terra da ovest a est; l'altra che le porta alternatamente da nord a sud, o da sud a nord. La loro via dovrà quindi essere una risultante. Si prenda una molecola sull'equatore, nell'atto che sente il richiamo verso il polo nord. Nell' atto di pigliare le mosse, essa è portata verso est con una

velocità di 154 miriametri all'ora, che tale è la velocità con cui rota la terra sull'equatore. Se tutti i paralleli si movessero colla stessa velocità, la molecola, benchè trasportata verso est, giungerebbe al primo parallelo, seguendo una retta, o meglio un piano normale all'equatore, si dirigerebbe cioè precisamente da sud a nord. Ma il moto di rotazione diminuisce continuamente dall'equatore al polo, dove riesce a zero. La nostra molecola dunque, giunta al primo parallelo, si trova forte di un di più di velocità iniziale, che la trasporta più a est del punto che aveva preso di mira: invece di seguire la direzione da sud a nord, avrà tenuto quella da sud-ovest a nord-est. Così continuando dal primo parallelo al secondo, dal secondo fino all'ultimo, dovrà sempre avanzarsi, seguendo una linea da sud-ovest a nord-est. Giunta al polo, ritorna verso l'equatore: ma la sua velocità si è andata scemando, è ridotta quasi a zero. Ora è la forza di inerzia, che la trattiene sempre indietro, mano mano che passa da un parallelo più lento a un parallelo più veloce. Non potrà quindi giungere all'equatore per un cammino diretto da nord a sud, ma dovrà arrivarvi per la via di nord-est. Il ragionamento si ripeta, mutando i termini, per una molecola che sia volta al polo sud. Sta conseguentemente fermo il principio che tutte le correnti atmosferiche normali (cioè non altrimenti disturbate), superiori e inferiori, che vanno dall'equatore ai poli, seguiranno una diagonale che le porta verso est, e quelle che vengono dai poli all'equatore una diagonale verso ovest. I venti sud spireranno come venti sud-ovest, i venti nord, come venti nord-est nell'emisfero boreale: nell'emisfero australe i venti nord spireranno come venti nord-ovest; i venti sud come venti sud-est. Ma ora, posto l'indice su un punto qualunque dell'equatore d'un globo artificiale, provatevi a condurlo al polo nord, portandolo costantemente verso nord-est. Vedrete che, per giungere al polo, avete dovuto segnare una spirale. Se dal polo nord vorrete ricondurre l'indice sull'equatore, portando costantemente verso sud-ovest (via della molecola di ritorno), troverete d'aver tracciato ugualmente una spirale. Le correnti atmosferiche adunque si porteranno dall'equatore ai poli e dai poli all'equatore me-

Fig. 3. — Spirale dei venti.

diante un sistema di spirali, svolgentisi in senso opposto, come è espresso nel diagramma, fig. 3. (Vedi retro.)

49. Un' altra legge fondamentale è questa, che il sistema atmosferico, riconoscendo il sole come primo movente, dovrà seguirlo nella sua corsa alternante da un tropico all'altro. Qualunque teoria metereologica si addotti, il principio è incontrastabile, e si traduce nella universalità dei fatti metereologici. L' alternare delle stagioni non è soltanto un alternare del freddo e del caldo. I venti e le calme, le pioggie e i sereni, il secco e l' umidità, si alternano colle stagioni in tutte le latitudini del globo. Nel sistema di Maury noi avremo dunque un sistema di nove zone parallele di venti e di calme, che oscillano continuamente da sud a nord e da nord a sud, impiegando un anno per ciascuna oscillazione completa. Il valore di tale oscillazione è di circa un migliajo di miglia.

50. Venendo ora a ciò che vi ha di parziale nel sistema di Maury, cominciamo a stabilire ciò che si verifica di fatto. Sono un fatto anzi tutto i venti alizei, che rappresenterebbero i tronchi inferiori delle correnti di ritorno. Un fatto sono parimenti le calme equatoriali. Questo anello di calme uggiose, di nubi stagnanti, di pioggie quasi perpetue, che cinge tutto il globo, oscillante sull'equatore secondo le stagioni, fu descritto coi colori più tristi dai primi navigatori, e lo si attraversa oggigiorno in tutti i sensi, partendo dall'Europa, per giungere a qualunque di quelle remote contrade, che necessitano il passaggio della linea. Le calme equatoriali occupano una zona più o meno larga, secondo i diversi mari, e le diverse stagioni. La sua larghezza oscilla tra i 250 e i 1000 chilometri. La calma non vi è letteralmente costante, nè le pioggie continue: i venti però, che spirano tra il 5° e il 18° di latitudine settentrionale, stanno ai venti, che spirano fuori delle calme, come 1 a 8. È calcolo di Maury. Le pioggie poi ripigliano ogni giorno con singolare costanza.

51. Abbiam detto che le calme equatoriali nascono dalla elisione di moto, prodotta dall'urto e dall'attrito tra le due opposte correnti che vi confluiscono. Pare invece che Marié Davy non assegni alle calme altra ragione, che la conversione del moto orizzontale in verticale o ascendente. In questo caso la calma sarebbe più apparente che reale: non ci sarebbe cioè diminuzione di moto, ma difetto soltanto di quei fenomeni che ci fanno accorti del movimento dell'aria. A me sembra invece che essi fenomeni nel caso non verrebbero meno: o almeno sarebbero sostituiti da fenomeni equivalenti. Un vento, che può spingere un corpo orizzontalmente, può anche levarlo verticalmente, con quella detrazione soltanto di forza che è portata dalla maggiore azione impediente della gravità. Humboldt ricorda i turbini di aria ascendente, che portano in aria nuvole di polvere, e

oscurano il cielo sui vasti piani dell'Orenoco. Kaemtz riporta un fatto osservato da Pottinger nel deserto del Beludschistan. Quel deserto è ricoperto uniformemente di sabbia rossa, fine, in dune da 3 a 6 metri di altezza. « A mezzodì, dice Pottinger, le colline sembravano scomparse; la sabbia formava una specie di piano oscillante sopra il livello generale, e a ciascun passo si credeva di mettere il piede sopra un piano elevato 3 decimetri sopra il vertice delle colline [1] ». Se adunque appare la calma, c'è calma davvero, e questa calma non è semplice conversione di moto. Ammesso anche del resto che il cambiarsi del moto orizzontale in verticale dovesse produrre un rallentamento, non si può negare quello, che, razionalmente e sperimentalmente, deriva dall'urto e dall'attrito delle correnti. È importantissimo di stabilire questo punto, che la calma dice indubbiamente incontro, urto, attrito di correnti.

52. Le due calme tropicali, rese sensibili anch' esse da un anello di nubi e di pioggie, sono anch'esse un fatto. Le calme tropicali oscillano sui tropici, come le equatoriali sull'equatore. Secondo il principio or ora espresso, anche sui tropici si verifica l'urto, l'attrito di due correnti, tanto più certamente, in quanto qui non si può pretestare la conversione del moto orizzontale in ascendente, come sull'equatore.

53. Un fatto è pure l' esistenza degli alizei superiori o contro-alizei. Nelle regioni intertropicali i contro alizei non si sentono nemmeno salendo sui picchi più eccelsi delle Cordigliere. È però, asserisce Marié Davy, abbastanza volgare il fenomeno di nubi situate a grande altezza nelle regioni degli alizei, e che camminano in senso contrario a questi venti. Nella notte dal 30 aprile al 1° maggio 1812 furono udite alle Barbade (Antille inglesi) forti denotazioni. La mattina comparve il cielo a ovest coperto da fitte nubi nere. L'oscurità parve in seguito ricondurre la notte, e piovvero ceneri in tale abbondanza, che gli alberi si inarcavano sotto il loro peso. Si seppe poi che una forte eruzione era scoppiata sul vulcano dell'isola S. Vincenzo, posta una trentina di leghe a ovest delle Barbade. Nel mese di maggio il vento alizeo nord-est spira in tutta la sua forza, e doveva quindi ributtare quelle ceneri a ovest. Bisogna dunque ammettere necessariamente, che le ceneri furono spinte dal vulcano in alto fin oltre i limiti dell'alizeo, e trovarono il contro-alizeo sud-ovest, che portolle sulle Barbade. Ben inteso, come dice Davy, che, piovendo, dovettero cadere entro i dominî dell' alizeo inferiore, che le avrà ricondotte alle Barbade per la via di sud-est. Ancora più convincente è il fatto che

[1]. Kaemtz, *Cours complet de météorologie, traduit par Ch. Martins*, Paris, 1858.

avvenne in seguito all' eruzione del Consegnina, presso il lago di Nicaragua, sull' istmo dell'America centrale il 20 gennajo 1835. Le ceneri di quel vulcano caddero a Kingston e in altre parti della Giammaica, che si trova a nord-est del vulcano. Quelle ceneri avevano adunque corso per ben 800 miglia col contro-alizeo sud-ovest, senza contare quella parte maggiore di cammino che hanno dovuto percorrere per ritornare alla Giammaica coll' alizeo nord-est.

54. Il contro-alizeo sud-ovest, destinato, secondo il sistema di Maury, a trasformarsi in vento extratropicale inferiore sud-ovest, deve necessariamente abbassarsi mano mano che si porta verso le latitudini, ove raggiunge la superficie della terra. Se non è sensibile sulle vette delle Cordigliere all' equatore, lo diverrà sopra cime anche meno elevate, ma sorgenti in latitudini più settentrionali. Il fatto risponde come non si potrebbe meglio. Le Canarie sono poste sui limiti oscillanti degli alizei nord-est e delle calme del Cancro. Anzi, per quel sistema di oscillazione annuale, per cui tutto l'apparato delle correnti atmosferiche è trasportato alternativamente di molti gradi da nord a sud e da sud a nord, le Canarie riescono, sul venir dell' inverno, sotto il vento extratropicale sud-ovest, e nell' estate sotto l' alizeo nord-est. Humboldt fece l' ascensione del Picco di Teneriffa, alto 3710^{m}, il 20 giugno. Egli durò fatica a tenersi ritto sul labbro del cratere, tanta era la violenza del vento d' ovest. Sovente i naviganti, dice Kaemtz (e Paludan osservò il fenomeno sovente), osservano le nubi volgere in senso opposto al vento alizeo, che spira sul mare. Giorgio Glass, storico delle Canarie, che soggiornò molti anni in quelle isole, lasciò scritto, che il vento d'ovest soffia costantemente nelle regioni più elevate, mentre i venti nord-est regnano sulla superficie del mare.

55. Domandiamo ora se esistono ugualmente i venti extratropicali, che devono spirare da ovest (precisamente da sud-ovest o da nord-ovest) nelle regioni temperate dei due emisferi, e sarebbero, nella teorica di Maury, la continuazione dei contro-alizei, dopo l' incrociamento nelle calme tropicali. Anche la loro esistenza è un fatto. Quando parleremo più espressamente della influenza perturbatrice che esercitano i continenti sulla circolazione atmosferica, vedremo come nell' interno de' continenti, e nelle latitudini settentrionali, dove i continenti si restringono e si fondono quasi in un solo continente, i perturbamenti sono, e devono essere tali, che la regolarità del sistema rimane profondamente offesa. È già molto se l' eccezione non prevale alla regola. Per buona sorte ciò non avviene: e principalmente dove i continenti sono ancor separati da un braccio considerevole dell'Oceano, cioè dall'Atlantico, il sistema trova ancor modo di affermarsi. I venti

extratropicali sud-ovest sono i dominanti a nord delle calme del Cancro. Lo afferma Maury, che, nei lunghi anni della sua luminosa carriera, come direttore dell'osservatorio di Washington, trovossi, meglio che alcun altro, nelle condizioni di accogliere dati sulla zona ove si trova l'osservatorio, la zona delle traversate giornaliere tra l'Europa e gli Stati-Uniti. Il fatto, benchè spiegato in modo affatto differente dal nostro, è confermato, anzi affermato in termini ancora più decisi da Marié Davy, il quale dice che i venti, nelle latitudini più alte a nord, oltre la zona degli alizei, corrono *franchement* dall'ovest all'est [1]. Più tardi [2] dichiara esplicitamente, che al di là dei tropici, in ambedue gli emisferi, soffiano dei venti forti, benchè meno regolari degli alizei, oscillanti tra sud-ovest e nord-ovest Anche Kaemtz insegna che i venti sud-ovest regnano fin verso il polo nell'emisfero boreale [3].

56. Per l'emisfero australe abbiamo le già citate testimonianze di Maury e di Marié Davy. Trovandoci in un emisfero quasi deserto di terre, che nell'emisfero opposto agiscono come perturbatori, i venti extra-tropicali dovrebbero avere la stessa regolarità degli alizei. È appunto in questo senso che suona la testimonianza di Maury. « Questi venti dell'emisfero sud, dice egli, che i marinai chiamano *bravi venti di ovest,* soffiano così costanti come nel nord gli alizei soffiano dall'est. Gli è col soccorso di que' venti che i viaggi di andata e ritorno di Australia sono compiti dai bastimenti a vela con una rapidità che gli *steamer* (bastimenti a vapore) non hanno potuto raggiungere ». Più tardi afferma che un bastimento, il quale viaggi da Nuova York in Inghilterra (direzione da ovest a est) in ragione di 150 miglia al giorno, ne fa invece 200 circa viaggiando sotto la stessa latitudine a sud, e nella stessa direzione, per giungere in Australia.

57. Vi ha tuttavia una terra, abbastanza nota nei rapporti metereologici, che deve cadere precisamente sotto i venti extratropicali australi, e pare creata espressamente per fare esperimento della verità della teorica. Que-

---

[1] *Météorologie,* pag. 119.

[2] *Ib.,* pag. 135.

[3] *Cours,* pag. 43. — A pag. 45 dell'opera si vede una tabella dove è indicata la direzione media, ossia la direzione prevalente, dei venti in Inghilterra, Francia, Germania, Danimarca, Svezia, Russia, America del Nord. Ne risulta (fatta eccezione della Russia) che i venti dominanti sono di sud-ovest meglio di ovest-sud-ovest, prossimi in genere a ovest. Quando si pensa che, come si vedrà più tardi, la causa principale della deviazione dei venti per l'Europa è a sud della zona dei venti sud-ovest (il Sahara, che inspira l'aria delle regioni circostanti), si trova naturalissimo che la media accusi una tendenza a deviare verso sud, di modo che i venti, che spirerebbero normalmente da sud-ovest a nord-est, vengano a dirigersi prossimamente da ovest a est, e che, continuando il cammino, sempre sotto la stessa influenza, si presentino anche come provenienti da nord-ovest, come si verifica per la media dei venti di Russia.

sta terra è la Patagonia, l'estremità meridionale dell'America, che si erge altissima, come diaframma tra i due grandi oceani, tagliando tutta la zona dei venti extratropicali. L'isolamento della Patagonia, così staccata dalle grandi masse continentali, le quali possono agire come forza perturbatrice, ci promette la maggior possibile regolarità nel sistema delle correnti atmosferiche. Prevenendo dei fatti, di cui dobbiamo occuparci più tardi, le condizioni climatologiche della Patagonia attestano appunto una tale regolarità. Sappiamo che le pioggie, sopra un versante di una data catena, vengono sempre col vento, che spira verso quel versante; fatto di cui ci renderemo ragione più tardi. Sappiamo intanto, che i due versanti della Patagonia offrono, quello a ovest una delle regioni più pluviali del globo, quello a est uno dei paesi di quasi assoluta siccità. Ciò vuol dire che un solo versante deve ritenersi, almeno con assoluto predominio, esposto ai venti; e questi venti devono spirare da ovest, devono essere i venti extra-tropicali nord-ovest, i venti normali della zona temperata australe. Ritorneremo su questo fatto, che è veramente splendido, come quello che offre uno dei più irrecusabili argomenti della verità delle tesi che noi sosteniamo.

58. Ci mancherebbe soltanto di poter stabilire l'esistenza dei venti extratropicali superiori o venti polari, e quella delle calme polari, per poter dire il sistema di Maury un semplice fatto.

59. Cominciando a parlare dei venti polari, non li trovo finora stabiliti da nessuna osservazione diretta [1]. La loro esistenza però e il loro incrociamento si devono ammettere come una conseguenza immediata dei fatti. Se i venti alizei soffiano costantemente verso l'equatore, devono

[1] Le nubi, che ci scoprirono il contro-alizeo caldo e umido nelle regioni superiori dell'atmosfera, non possono attendersi facilmente dal vento polare, freddo e secco, mentre, incamminandosi verso regioni più calde, diviene più atto a sciogliere che a concentrare i vapori. Il vento polare è vento di sereno per eccellenza. Non è difficile invece ch'ei ci riveli la propria esistenza in quell'altro modo, con cui lo stesso contro-alizeo ci si palesò chiaramente. Come il contro-alizeo sud-ovest portò le ceneri del S. Vincenzo o del Conseguina alle Barbade e alla Giammaica, potrebbe il vento polare nord-est, seguendo precisamente la sua via, spingere sul Canadà e sugli Stati-Uniti le ceneri dei vulcani attivissimi d'Islanda e dell'isola Jan Mayen. Nelle memorie di Ehrenberg (*Abhandl. d. k. Akad. zu Berlin*, 1847) sono registrati i seguenti fatti: « Il 19 maggio 1780 una nube oscura passò sul Nord-America, e sembrò arrestarsi sul Connecticut. Tra le 10 e le 11 di mattina si dovettero accendere i lumi, tanta era l'oscurità. Lo stesso fenomeno rinnovossi al Canadà nel 1785, e durò 7 giorni. Non trovo registrata nessuna eruzione dei vulcani d'Islanda nel 1780 e nel 1785. Ehrenberg però mette un punto d'interrogazione a queste due date, ed io trovo che nel 1783 avvenne la spaventevole eruzione dello Skaptar-Jokul (Islanda), di cui parleremo a suo tempo. Scoresby scorse due vulcani attivi nell'isola Jan Mayen, ma non vi sono memorie che ne precisino le eruzioni. A voler però assegnare un'origine a quelle nubi, che generarono una siffatta oscurità, c'è da scommettere il cento contro uno che si trattava di ammassi di ceneri vulcaniche. Il farsi di

venire dai poli: ma come corrente inferiore non vengono, poichè troviamo, oltre le calme tropicali, dei venti, i quali seguono precisamente il cammino opposto. Se non vengono come venti inferiori, dovranno arrivare come venti superiori. Questi venti superiori hanno adunque dovuto discendere, per divenire alizei sulla superficie del mare. In pari tempo i venti extra-tropicali, che portano l'aria verso i poli, non possono derivarla che dall'equatore. Quest'aria non può essere venuta che come vento superiore, al dissopra degli alizei, e questi venti superiori hanno dovuto discendere alla superficie del mare, per divenire venti extra-tropicali. I venti polari non possono dunque discendere, per farsi alizei, che incrociandosi coi venti equatoriali superiori, i quali discendono per divenire venti extra-tropicali. L'incrociamento sulle calme tropicali è una irrecusabile necessità.

60. L'incrociamento non può avvenire senza urto, senza mutuo attrito delle molecole incrociantisi: ed ecco la calma, conseguenza e testimonio dell'incrociamento. Il vento equatoriale superiore, nutrito dall'aria calda e carica di vapori, che si alza sull'equatore, deve raffreddarsi a contatto del vento polare, alimentato dall'aria gelata che turbina sui poli. Conseguenza necessaria sarà una concentrazione di vapore, quindi le piogge tropicali, conseguenza e testimonio dell' incrociamento. L'urto delle correnti, che si incrociano, comprimendo l'aria, deve renderla più densa e pesante. Il barometro alzandosi, accusa una tale compressione, come attesta Maury, e depone in favore dell' incrociamento.

61. Se alcuno dubitasse ancora, basterebbe provargli che i venti extra-tropicali non sono che una continuazione dei contro-alizei, i quali non fanno

giorno notte, in seguito ai diluvi di ceneri eruttate dai vulcani, è fenomeno volgarissimo. Ma c'è ancora di meglio in favore del nostro supposto. Ehremberg registra quest'altro fatto. La sera del 3 luglio 1814 il Canadà fu di nuovo involto nella più fitta oscurità. Il fenomeno fu osservato da un bastimento alle foci del San Lorenzo, e precisamente presso l'isola Anticosti. Cominciò alle 9 di sera e continuò tutta la notte a piovere della polvere e precisamente, come dice Ehremberg, della *cenere nera*. Benchè fosse luna piena, il suo disco non si scopriva. L'aria era perfettamente tranquilla. La mattina il mare appariva coperto di cenere. L'acqua di un tino era divenuta nera come l'inchiostro, e le ceneri raccolte dal mare si prosciugarono in una pasta simile al *lucido per le scarpe*. Quella polvere non era sabbiosa, ma come vera cenere nera. Anche il giorno 4 caddero ceneri. Alle 3 1/2 pom. non si potevano leggere le ore sull'oriuolo. » Chi non ci vede descritta una caduta di ceneri vulcaniche nere, ossia augitiche, come sono augitiche, cioè basaltiche, in gran parte le lave d'Islanda? Si nota espressamente come quelle ceneri non erano punto somiglianti alle ceneri del San Vincenzo nelle Antille. Trovandosi a NE del Canadà un gruppo di vulcani attivissimi, quelli d' Islanda e dell'isola Jan Mayen, è affatto probabile che quelle ceneri venissero di là. Quando tale origine si potesse accertare, l'esistenza del vento polare superiore nord-est sarebbe certa come lo è quella del contro-alizeo.

che mutare la loro posizione per rapporto alla superficie della terra. Se ciò è vero, i contro-alizei e gli extra-tropicali costituiscono una massa mobile continua, una specie di gran cataratta, che, dall'altezza di oltre 7000 metri sull'equatore, discende non interrotta alla superficie del mare nelle latitudini più alte, a settentrione del Cancro, nell'emisfero boreale[1]. Gli alizei che spirano a mezzodì del Cancro non possono derivare dal polo che passando attraverso a quel velo di aria, che si frappone tra loro e il polo, formando una cataratta polare, che s'incrocia colla cataratta equatoriale. Tutto si riduce adunque a dimostrare che il vento extra-tropicale sud-ovest è una continuazione del contro-alizeo sud-ovest.

62. Se fosse possibile, p. es., tingere di un dato colore l'aria che viene dall'equatore, segnarne in qualunque modo le molecole, in guisa che fosse possibile l'identificarle, quando discendono dalle regioni superiori alla superficie!... La natura ha provveduto anche a questo. Uno dei fenomeni tellurici, che vantino una storia antichissima, è quello delle *piogge di sangue*, o con termini più veri, delle piogge di colore sanguigno, e delle polveri meteoriche rosse, che di tanto in tanto fanno la loro comparsa nelle regioni circummediterranee. Nelle regioni più interne, come a Lione, a Genova, sul Lago Maggiore, nell'Engadina, in fine nelle regioni delle Alpi, ove le piogge o le nevi sanguigne caddero centinaja di volte, vennero coi scirocchi, ossia coi venti caldi e umidi, che inondano quelle regioni, venendo da ovest, più precisamente da sud-ovest. Sono sempre, per quanto mi consta, portate dalla procella, che molte volte in questi casi fu veramente disastrosa, agendo nelle nostre pacifiche contrade con quella violenza per la quale sono così temuti i cicloni, i quali non sogliono imperversare che nella zona torrida, sull' Oceano, o sulle terre che vi sono immediatamente esposte. Così avvenne a Lione il 17 ottobre 1846, sul Lago Maggiore il 14 ottobre 1855. La pioggia, o la neve sanguigna, lasciano un residuo fangoso, che, disseccandosi, si risolve in una polvere rossa, composta di grani terrosi, con una copia talora considerevolissima di organismi microscopici, animali o vegetali. Le polveri rosse si osservano frequentemente a Malta, e costituiscono (come asserì il Gemellaro e ho potuto osservare io stesso, dietro i molti dati raccolti) un fenomeno, che si può dire ordinario, in Sicilia, nominatamente sulle coste sud-ovest e sud-est, a Catania, a Modica, ecc. Gli abitanti di quel paese non ne fanno nessun caso. Ma si avverta bene questo fatto, che, mentre nelle regioni delle Alpi vi

[1] Mi limito all'emisfero che solo finora fu oggetto di certe speciali osservazioni. L'armonia delle leggi della natura, quale risulta dall'infinito complesso dei fatti, ci autorizza a ritenere dimostrato per un emisfero ciò che lo sia per l'altro.

son portate dalle procelle, in Sicilia lo sono dai scirocchi caldi, ma regolari; ordinariamente senza pioggia. Si nota ebe la zona disegnata da frequenti cadute di polveri rosse nelle regioni più meridionali d'Italia, comprende Malta, il triangolo più meridionale della Sicilia e le Calabrie, per cui è distesa da sud-ovest a nord-est, segna cioè precisamente la via dei venti extra-tropicali sud-ovest. Le stesse polveri rosse calano senza pioggia, col vento regolare, il quale non può essere ebe l'alizeo nord-est, sulle isole del Capo Verde, e su tutto il littorale dell'Africa occidentale tra l'equatore e il 30.ª di latitudine nord. I bastimenti, che veleggiano all'altezza dell'isole del Capo Verde, ne furono più volte cospersi, e parrebbe, a quanto ne dicono alcuni antori, che quelle polveri costituiscano in quei paraggi un fenomeno, se non costante, almeno molto frequente. Partendo dal fatto, che le piogge e le polveri rosse arrivano in Italia e nelle regioni alpine coi venti caldi di sud-ovest e sulle isolo del Capo verde con quelli di nord-est, si ritenne che quelle polveri fossero africane, e ebe il vento del deserto, seco portando, nella sua ascesa sopra l'immenso bracere del Sahara, nembi di polvere, la lasciasse poi cadere sulle regioni più o meno lontane che circondano l'Africa.[1] Ebremberg raccoglie un bnon numero di saggi di quelle polveri prodigiose cadute in epocbe e in località diverse, al Capo Verde, a Malta, in Calabria, a Genova, a Lione, a Udine, in Tirolo, ecc.: determina qnalebe centinajo di specie di quegli organismi microscopici e giunge alle segnenti conclusioni: 1.ª Le polveri rosse, che cadono nelle regioni circummediterranee, sono identiche a quelle ebe cadono sulle isole del Capo Verde, e accusano quindi una provenienza identica; 2.° La fauna e la flora microscopica di quelle polveri risulta di una miscela di specie, dove appajono associate costantemente specie del Sud-America con specie d'Europa; 3.° Si verifica costautemonte l'assenza di specie caratteristiche dell'Africa.

63. Il fatto della presenza costante di specie del Sud-America, portate dai venti sui lidi occidentali dell'Africa e nel cuore d'Europa, è un fatto veramente imponente. Maury ci vide tosto una splendida conferma delle sue

---

[1] L'idea della provenienza dei venti caldi e delle polveri, che essi ci recano dal Sahara, è così volgare, e a un tempo così radicata nelle menti degli nomioi della scienza, ebe ci vorrannn forse degli anni malti per sradicaria. Eppure ormai non ci è nolla di più assurdn. Fra le altre cose, se ci sonn oell'Egitto sabbie rossigne, le grandi sabbie del deserto sonn bianche n grigie, come oota Ehremberg. Il signor Desor, che visitò personalmente il deserto, nnn può essere più esplicito su qnesto orgomenin. « Vues de loin, ces duoes (du Sahara) « nous rappelaient aussi quelqnes fnis les apparences dn *névé* dans les cirqoes et sur les « arêtes qui avnisineot les plus hants sommets des Alpes. La *couleur* prêtait encnre à l'illu« sinn. Modelés par les vents, les sables brûlants du desert prennent les mêmes formes que « les névés des glaciers. Ces dunes soot composées *uniquement de sable silicieux très fin,* « *semblable à celui de Fontainebleau* (*Tableau physique du Sahara oriental*, pag. 29). »

teoriche: il vento che porta le piogge in Europa doveva essere veramente il contro-alizeo, che, levandosi alto sui lidi dell'America equatoriale verso l'Atlantico, carico delle polveri sollevate sugli adusti piani della grande regione delle Amazzoni, attraversato l'Atlantico, come corrente superiore, e incrociate le calme del Cancro, discende sull'Europa, come vento di sud-ovest. Queste idee troppo esclusive vennero communemente adottate dai pochi fautori del sistema di Maury, quindi da me pure nelle mie *Note ad un corso di geologia*, prima che avessi potuto attingere agli studi originali di Ehremberg[1]. Ora, non meno convinto in genere del fatto che il vento umido e caldo di sud-ovest, il quale ci porta le polveri rosse, è il contro-alizeo superiore, concetto nelle regioni equatoriali dell'America, debbo tuttavia tener calcolo di due difficoltà, la prima dedotta dalla natura di quelle polveri, la seconda dal modo diverso con cui ci vengono nelle diverse regioni. Non è vero, come si crederebbe leggendo le opere di Maury, di Dana e di altri[2], che le specie, scoperte da Ehremberg nelle polveri del Capo Verde e delle Alpi, siano tutte del Sud-America. Vi sono (e il fatto, lo ripeto, è imponente) costantemente specie del Sud-America; ma queste sono in gran minoranza: la gran maggioranza è di specie europee. Non è vero, in secondo luogo, che quelle polveri sian portate ovunque dai venti di sud-ovest. Giungono con questi venti, e ordinariamente senza pioggia, in Sicilia. Nelle regioni più interne, cisalpine, alpine o subalpine, arrivano da sud-ovest, ma portatevi dalle procelle, il cui furore affatto eccezionale è attestato da mille documenti della storia antica e moderna. Nelle regioni del Capo Verde sono portate da venti regolari di nord-est. Il fenomeno non è dunque così semplice, come si pensava; e com'egli è triplice, così ha bisogno di una triplice spiegazione. Tutto però, per mio avviso, si spiega col sistema della circolazione atmosferica, che noi pro-

---

[1] EHREMBERG, *Passat-Staub u. Blutregen* (*Habhandl. d. k. Akad. zu Berlin*, 1847).

[2] RECLUS nella sua opera *Le terre*, a pagina 313 dice che la polvere meteorica del Mediterraneo e dell'Atlantico *n'est autre chose.... qu'un amas d'animalcules silicieux provenant des llanos de l'Amérique du sud.* Vi sono tre errori in questa asserzione: 1.° gli organismi non costituiscono che una parte, talora minima, di quelle polveri; 2.° non sono tutti organismi silicei; 3.° gli organismi provenienti dal sud-America sono in gran minoranza in confronto di quelli che provengono dall'Europa. Ecco del resto come sono ripartiti nelle diverse classi da Ehremberg 119 specie di organismi da lui scoperti nelle polveri meteoriche.

Polygastrica	57
Phytolitharia	46
Polythalamia	8
Parti molli di vegetali	7
Frammenti d'insetti	1
	119

poniamo, e che troverebbe nel fenomeno delle polveri meteoriche descritte, non una, ma una triplice conferma.

64. Cominciamo dal primo modo di presentarsi delle polveri meteoriche. Esse cadono sotto forma di piogge o di nevi sanguigne, portate dalla procella nelle regioni più interne, specialmente sulle Alpi e sui loro versanti meridionali. Gli studî di Maury e di altri hanno ormai contato i passi ai terribili cicloni del nord-Atlantico, dei quali diremo qualche cosa più tardi. Queste trombe gigantesche nascono d' ordinario presso l' equatore, e non lontano dalle coste dell' America meridionale, si spingono verso il golfo del Messico, radono gli Stati Uniti, poi si ripiegano bruscamente verso l' Europa, segnendo, come vedremo, le tracce della gran corrente del golfo, e seminando di rovine la loro via. Più recenti studî, quelli principalmente di Marié Davy, hanno messo in chiaro i rapporti che esistono tra i cicloni dell' Atlantico e le tempeste del Mediterraneo. Risulta anzi che le tempeste, le quali, sconvolto il Mediterraneo, si spingono sul continente, abbracciando quasi tutta l' Europa nel loro vortice terribile, non sono che gli stessi cicloni dell' Atlantico, i quali ci arrivano, quando il loro cerchio di rivoluzione è già immensamente allargato, e trovansi in conseguenza già stremi di forza, e presso a sciogliersi. Quei cicloni sono parossismi locali, che si trasportano sopra una data linea, e non turbano il grande sistema delle correnti atmosferiche, se non entro quel cerchio, relativamente angusto, in cui rotano, a guisa di poderosa trottola, traendo, quasi in un vortice, l'aria della superficie terrestre fino ad altezza ignota. Ecco come deve avvenire che, presso le origini di quei cicloni, cioè nelle regioni equatoriali del Sud-America, una parte dell'aria che si leva turbinosa sui piani polverosi del bacino del Rio delle Amazzoni, e costituisce il contro-alizeo, sia trascinata nel vortice, o lo siano le stesse polveri immediatamente, quando il ciclone tocca terra, e rota turbinoso sugli adusti piani. Attraversato l'Atlantico, e giunto in Europa, il ciclone inspira nel suo vortice le polveri europee, e tutto si mesce entro quella cerchia turbinosa. Le polveri europeo-americane tingono le acque diluviali o le nevi[1], che segnano la marcia del ciclone, specialmente nelle regioni più avanzate verso le Alpi.

---

[1] I saggi al microscopio, figurati da Ehremberg in buon numero, mostrano come il color rosso è dato alle polveri meteoriche da finissimi granuli di detto colore, che figurano però in gran minoranza tra altri, che costituirebbero una massa non dissimile dalle communi polveri. Noi, che non siam punto colpiti dal commune polverio di color bigio sudicio, che oscura così sovente il cielo, e si depone ovunque in gran copia, lo siamo invece ogni volta della eccezionalità di quel color di mattone, che caratterizza quelle che si dovrebbero dire polveri meteoriche soltanto per antonomasia. Ma, ripeto, il color rosso non è proprio che di una parte

65. Vediamo ora come si possano spiegare gli altri due modi del fenomeno, l' apparizione cioè dello polveri meteoriche coi venti caldi di sud-ovest (venti tropicali sud-ovest), in Sicilia, a Malta, nelle Calabrie [1], e coi venti alizei di nord-est nei paraggi del Capo-Verde.

Prescindendo dai cicloni, anzi con testimonianze più positive, le polveri sud-americane sono levate nelle alte regioni dell' atmosfera dalle correnti equatoriali ascendenti, che si innalzano, per costituirsi in venti extra-tropicali sud-ovest. Humboldt ci lasciò una magnifica descrizione di ciò che avviene, quando l'estate equatoriale trasforma i piani inondati dall' Orenóco in deserti coperti di ceneri. L' aria, levandosi turbinosa, trasporta seco tali nembi di polvere, che l' orizzonte ne rimane oscurato, e il cielo piglia quella tinta sinistra, che assume appunto da noi ogni volta che cadono le polveri meteoriche. Così nembi di polveri americane devono trovarsi travolti dalla corrente dei contro-alizei superiori, destinati a divenire extra-tropicali sud-ovest, oltre le calme del Cancro. Il fenomeno dev' essere continuo, almeno nella stagione della siccità. I fatti hanno del resto già suggerito a Ehremberg (e lo ripete più volto ne' suoi scritti) che le polveri meteoriche indicano una corrente continua, e che quei corpuscoli così guasti, onde sono composte, sono già forse elaborati da secoli dall' azione meccanica delle correnti atmosferiche. A ogni modo il fenomeno deve avere dello epoche di risalto, come lo hanno i venti in tutte le regioni del globo.

66. Lasciamo i contro-alizei sud-ovest, che viaggiano superiormente, cari-

---

delle polveri, e sarebbe appunto quella parte soltanto che deriva dall'America. La vivacità del colore fa sì, che esso si presenti allo sguardo come fosse una tinta commune a tutta la massa. Mescolate una polvere bianca, o almeno chiara, con una porzione anche poco considerevole di polvere rossa, verde, gialla, nera, e tutta la massa prenderà una tinta rossiccia, verdiccia, gialliccia, nerastra. Ma il color rosso è veramente il colore delle polveri americane in quelle località, donde ci dovrebbero esser portate dai venti! Ehremberg riferisce che, dai saggi portati dai fratelli Schomburgk, risulta le polveri gialle e rosse esser quelle che dominano fin molto nell' interno dell'America equinoziale. Gioverà anche ricordarsi, che A. Humboldt, sopra il Paramo di Guanaco, sulla via da Bogota a Papayan, a circa 4483^{m} di elevazione, soffrì di una *gragnola rossa*. Si rifletta che ci troviamo tra il 3° e il 6° di latitudine nord, all'altezza delle calme equatoriali, dove l'aria ascendente sta per trasformarsi in contro-alizeo sud-ovest. Quella grandine rossa dice, secondo me, un primo tributo di polveri, inspirate dalle basse regioni, e cedute coi primi vapori dell'aria ascendente, nell'alto di trasformarsi in contro-alizeo.

[1] Pei venti, che portarono le polveri rosse nelle nominate regioni, come in altre, non è indicata precisamente la provenienza sud-ovest, ma piuttosto quella di sud-est o di sud-sud-est. Trattasi però sempre di scirocco, di vento marino caldo, di quel vento infine che viene dall'Atlantico (apparentemente dall'Africa), normalmente vento di sud-ovest, che deve subire delle inflessioni nel labirinto dei rilievi circummediterranei. Del resto Malta e la costa siciliana soggette frequentemente a quelle invasioni, sono le terre immediatamente esposte ai venti di sud e di ovest.

chi di polveri americane, attraverso l' Atlantico, verso l' Europa; o portiamoci nelle regioni dell' antico continente, a cui sono diretti. Queste regioni (nominatamente le circummediterranee dove cadono le polveri) sono normalmente soggette ai venti extra-tropicali sud-ovest. Esse sono anche tuttavia (daremo più tardi le ragioni del fatto) le regioni più eccezionali, per rapporto al sistema de' venti, che vi si rimutano colla massima irregolarità. Ma i venti più decisi, più volgarmente distinti tra noi sono: 1.° i *scirocchi*, caldi ed umidi, provenienti da sud (normalmente venti di sud-ovest, oscillanti fra sud-est e sud-ovest); 2.° i venti di nord (normalmente venti di nord-est, oscillanti tra nord-est e nord-ovest). Questi venti sono anche volgarmente distinti coi nomi di venti di mare o venti di terra. Mentre i venti di sud non sarebbero che gli extra-tropicali sud-ovest, rappresentanti la *regola* nel sistema della circolazione atmosferica; i venti di nord rappresentano l' *eccezione*. Non credo però difficile di fare rientrare anche questi venti nel sistema, considerandoli come porzione deviata di una delle grandi correnti normali, che sarebbe quella dei venti polari nord-est, divenuti accidentalmente inferiori. Freddi, secchi, sereni, derivanti comunque dalle regioni polari, portano con sè, benchè forviati accidentalmente, la loro fede di nascita. Quei venti, noi lo sappiamo, spesso furiosi e ostinati, scopano letteralmente le regioni d'Europa, sollevando pure nembi di polvere, che oscurano il cielo, dirigendosi da settentrione a mezzodì, sopra una linea media che si avvicina più o meno, secondo i luoghi, alla direzione est-ovest.

67. Questi venti, cessata la causa perturbatrice, la cui azione, come vedremo, è ristretta a una cerchia relativamente angusta (precisamente all' interno dei continenti, e a breve distanza da essi), guadagnato il libero mare, debbono rientrare nel sistema normale della circolazione. Quei venti, carichi di polveri europee, si troveranno di nuovo al loro posto, come venti superiori nord-est, sui limiti delle calme del Cancro, destinati a incrociarsi coi contro-alizei sud-ovest, per discendere, secondo il sistema, trasformati in alizei nord-est. Nelle calme del Cancro i nostri venti nord-est, carichi di polveri europee, si imbattono nei contro-alizei sud-ovest, che lasciammo avviati, col loro carico di polveri americane, verso l'Europa. Vediamo che ne deve accadere.

68. Nella zona delle calme del Cancro, che si svolge precisamente tra le regioni mediterranee soggette alle piogge periodiche di polveri rosse, e le isole del Capo Verde, ugualmente esposte allo stesse cadute, si incontrano i venti di opposta provenienza; quindi l' urto, quindi la calma, per la momentanea elisione del moto. Qui certamente è il luogo ove, cessando in gran parte la forza impulsiva, le polveri devono essere abbandonate a

sè stesse. Una miscela di polveri europee e di polveri sud-americane piove dalle regioni superiori dell' atmosfera. Se l' elisione del moto fosse completa, se i venti opposti perfettamente si equilibrassero, non ci sarebbe ragione perchè le polveri, piovendo, deviassero dalla verticale. Ma l' elisione del moto non avviene perfettamente, se i venti s' incrociano e passano oltre: nemmeno si equilibrano, rimanendo invece a volte a volte prevalenti o gli uni o gli altri. È un fatto che i venti di sud-ovest spirano talvolta decisi, violenti sulle nostre regioni: d' altra parte i navigatori, partendo dalle coste occidentali dell' Africa, incontrano sovente dei venti turbinosi, provenienti dall' interno del continente (provenienza nord-est), che portano ben lungi sul mare le sabbie dei deserti (da non confondersi punto colle polveri rosse), indicando dei risalti, dei parossismi negli alizei nord-est, costanti in quei mari.

69. Se varia la forza dei singoli venti, ne viene come di necessaria conseguenza che ora gli uni ora gli altri divengano prevalenti; acquistino cioè maggiore velocità, maggior forza impulsiva. Diciamo così in difetto di dati positivi, i quali ci assicurino, che l' incremento dei venti sud-ovest non sia accompagnato da un pari incremento dei venti nord-est e viceversa. Che il contrario avvenga, ci è però persuaso dai due riflessi: 1.° che gli squilibrî atmosferici accusano sempre cause locali, le quali non possono avere certo un' eguale influenza su due correnti opposte, e le cui origini sono così enormemente fra loro distanti; 2.° che, supposto anche il rinforzarsi contemporaneo dei due venti, l' urto non sarebbe che maggiore; e quindi la loro velocità, oltre il punto ove l' urto succede, sarebbe piuttosto diminuita che accresciuta. Del resto le ragioni della violenza dei singoli venti sta indubbiamente nella regione verso la quale si dirigono, non già in quella da cui derivano. Quelle regioni pei venti nord-est sono le equatoriali, pei venti sud-ovest le polari.

70. Credo indubitato adunque che prevalgano talora i contro-alizei sud-ovest, nell'atto che si trasformano in extra-tropicali sud-ovest; talora invece i polari nord-est, mentre si cambiano in alizei nord-est. Che deve dunque avvenire di quella miscela di polveri, che lasciammo piovente nella zona delle calme? Ubbidirà al vento prevalente. Supponiamo, prevalga il contro-alizeo sud-ovest. Divenendo vento extra-tropicale inferiore sud-ovest, porterà le polveri rosse sulle regioni mediterranee, a Malta, in Sicilia, nelle Calabrie, dove cadranno senza grandi sconcerti, solo quando il scirocco è più deciso, più violento; come si verifica di fatto. Supponiamo invece che prevalga il vento polare superiore nord-est. Divenuto alizeo inferiore nord-est, trasporterà le polveri sui mari dell'Africa occidentale e sulle isole del Capo-Verde, come si verifica le tante volte. La teorica di Maury, perciò

che riguarda l'incrociamento dei venti polari nord-est coi contro-alizei sud-ovest, e la rispettiva trasformazione in venti inferiori nord-est e sud-ovest, riceve dalle polveri meteoriche la più splendida conferma.

71. Confesso che la soluzione ch'io propongo delle questioni che riguardano la caduta delle polveri meteoriche, non si impone colla luce della evidenza. Se non sapessi di avere già varcato i limiti impostimi dall'indole di questo trattato, potrei accrescere valore ai fatti e alle deduzioni con altri fatti e altre deduzioni. Ma ancora avrei a lamentare il difetto di molti dati positivi, che la scienza finora invano reclama.[1] Ehremberg si può dire il solo che siasi occupato seriamente del fenomeno; ma egli non si arrischiò che assai timidamente nei campi della meteorologia. I meteorologisti in genere, traviati da vecchi pregiudizî, non si curarono di far proprî i dati raccolti da Ehremberg. Il complesso dei fatti pare del resto abbastanza convincente in favore di ciò che volevano dimostrare, che cioè quelle polveri rosse contengono in buona parte polveri sud-americane, che dovettero attraversare l'Atlantico. Non poterono farlo che col contro-alizeo sud-ovest, l'unico che spiri dall'America verso l'Europa. Questo, per recarle a noi in via normale, dovè trasformarsi in extra-tropicale sud-ovest, il quale dunque non è che il contro-alizeo sud-ovest, che si abbassa oltre la zona delle calme del Cancro. Dunque è vero finalmente ciò che dicevamo al § 61, i venti extra-tropicali non essere che una continuazione dei contro-alizei, che discendono alle superficie delle terre e dei mari extra-tropicali, incrociando i venti polari superiori, nell'atto che pure discendono, per divenire alizei, o venti di superficie delle terre e dei mari tropicali.

72. Volendosi anche rifiutare una prova così positiva che della conversione del contro-alizeo sud-ovest in vento extra-tropicale sud-ovest recano gli infusorî americani, non si potrà sconoscere il valore della prova negativa, che ci hanno apportata gli studî di Ehremberg. Specie africane non sono assolutamente portate nè coi venti di sud-ovest in Europa, nè coi venti di nord-est sulle isole del Capo Verde. Quei venti adunque non

[1] Tra i fatti più imponenti riportati da Ehremberg troviamo quello verificatosi a Salzburg il 31 marzo 1847. Le polveri che vi caddero contenevano, oltre i soliti organismi, una quantità enorme di *polline di pino*, costituente forse la metà della massa. I grani erano rotti o malconci. Prescindendo anche, dice l'autore, dal freddo che in Tirolo domina nel marzo, e dal fatto che in tutta Europa il marzo è troppo presto per la fioritura dei pini, supposto che quei pollini venissero dall'Europa, dovevanvisi trovare almeno de' grani freschi. Pare sottintesa la conclusione che quel polline provenisse dalle regioni equatoriali d'America, come la *Synedra entomon*, infusorio del sud-America, che figurava tra gli organismi di quella caduta. Si rifletta del resto che, nelle regioni equatoriali, la primavera, in cui le piante germinano precisamente come nelle zone temperate, comincia colla fine del febbrajo, o col principio del marzo.

derivano dall'Africa. Inoltre i venti di sud-ovest, detti già venti africani, venti del deserto, sono eccessivamente umidi. Come mai un vento può essere umido, uscendo dalla bocca di quel forno immenso che è il Sahara? E la breve traversata del Mediterraneo poteva bastare a renderlo per noi un vento diluviale? Parlo in genere dei venti caldi di sud-ovest, i quali, ci arrivino con o senza polveri, sono noti volgarmente nelle regioni mediterranee, e nominatamente sui versanti meridionali delle Alpi, come quelli che ci recano invariabilmente le piogge. Un vento umido e caldo, che spira da sud-ovest sull'Europa, se non viene dall'Africa, non può giungere che dall'America meridionale, dopo avere uniti ai calori dei piani equatoriali i vapori dell'Atlantico.

73. Se i luoghi, che cadono sotto le calme tropicali, non si trovassero in genere fuori di quella zona, ove sono attualmente distribuiti gli osservatori, si potrebbe, per dir così, tener dietro al vento superiore sud-ovest nell'atto che si cambia in vento superficiale sud-ovest. Dove le calme oscillano, troveremmo dei luoghi, sui quali i due venti si alternano, secondo che le calme si alternano su quegli stessi luoghi, oscillando da nord a sud e da sud a nord, secondo quello che abbiamo osservato precedentemente. Di questi luoghi al presente io non ne conosco che uno, per buona sorte opportunissimo, perchè lontano abbastanza dai continenti, perturbatori solenni del sistema atmosferico, e perchè vi si raccolsero dati meteorologici molto precisi. Parlo delle Canarie, le quali si trovano precisamente entro la zona di oscillazione delle calme, tanto che una parte dell'anno sono esposte agli alizei nord-est, mentre l'altra parte sentono i venti extra-tropicali sud-ovest. Quanto dirò circa il regime meteorologico delle Canarie, trovasi raccolto in un paragrafo di Marié Davy. Ma, per cavare tutto il frutto dell'analisi dei fatti che sto per riportare, trovo necessario di ritornare alla teorica dell'incrociamento sulle calme, per osservar meglio in che modo esso incrociamento deve avvenire.

74. L'atmosfera ha ovunque lo stesso spessore. Le oscillazioni barometriche accusano delle ondulazioni, delle irregolarità transitorie: non sono tali però, per cui non possa dirsi, che lo spessore dello strato atmosferico non si conservi sensibilmente lo stesso, come si direbbe di un mare, benchè mosso dalla tempesta, quando il fondo del mare fosse un piano, come un piano è il mare stesso, che può dirsi il fondo dell'oceano atmosferico. Lo strato atmosferico si deve considerare come diviso in due strati sovrapposti, di eguale potenza, perchè formati l'uno dalle correnti inferiori, l'altro dalle correnti superiori, le quali sono fra loro equivalenti, dovendo mutuamente equilibrarsi e sostituirsi. Dove le correnti si incrociano, lo strato atmosferico mantiene ancora lo stesso spessore: e così deve essere, perchè i

due strati non fanno che incrociarvisi, mantenendo ciascuno la stessa massa, dalla cui unione risulta il totale dello strato atmosferico. Si badi soltanto a ciò che, sulla trajettoria, per la quale le correnti superiori discendono per divenire inferiori, ciascuna corrente deve occupare tutta l'altezza dell'atmosfera; ciascuna metà dello strato deve avere lo spessore di tutto lo strato. Ciò non può avvenire, che coll'aumento del volume a spese della densità di ciascun strato; sempre inteso che ciascuno strato mantenga la sua individualità distinta. Questa minore densità delle due masse d'aria agevola naturalmente la loro mutua compenetrazione, mentre non ne rimarrà punto scemata la densità dell'atmosfera, risultando essa di ambedue le masse compenetrantisi.

Premesso questo, osserviamo come deve avvenire il fenomeno, secondo le leggi della meccanica. Nel diagramma qui sotto ho cercato di renderlo visibile come io lo intendo.

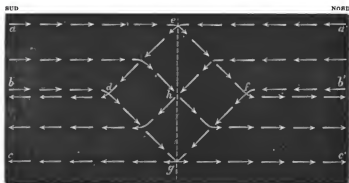



Fig. 4. Incrociamento tropicale dei venti.

75. La figura rappresenta l'atmosfera sulla zona delle calme, divisa nei suoi due strati. A sud delle calme, il cui asse verticale è rappresentato dalla linea *e g*, l'atmosfera è divisa in uno strato superiore *a b*, dove spira il contro-alizeo sud ovest, e in uno strato inferiore *b c*, dove soffia l'alizeo nord est. A nord lo strato superiore *a' b'* è quello del vento polare superiore nord est, e lo strato *b' c'* è quello del vento extra-tropicale inferiore sud-ovest. Prendiamo una molecola del contro-alizeo, la più libera, quella che corre superiormente sulla linea *a e*, e un'altra del vento polare nord-est, che corre nelle stesse condizioni, ma per via opposta, sulla linea *a' e*. Le due molecole si incontreranno urtandosi sul punto *e*, e piegandosi verso il basso, reagiranno contro la rispettiva molecola sottostante,

la quale dovrà piegarsi prima, reagendo sulla terza molecola che le sta sotto, la quale dovrà piegarsi ancora più distante dalla linea verticale *e g*. Tutta la corrente dunque, del contro-alizeo a sud, e del vento polare a nord, si ripiegherà sopra una linea obliqua, cioè sulla linea *e d* la meridionale, sulla linea *e f* la settentrionale. È continuando normalmente da queste linee, che le molecole arriveranno nella regione inferiore, dove devono spirare come venti inferiori. Il contro-alizeo sud-ovest riuscirà a trasformarsi in vento extra-tropicale sud ovest sopra una linea *f g*, parallela a *e d*, e il vento polare nord-est si troverà alla sua volta divenuto vento alizeo nord-est sulla linea *d g*, parallela alla linea *e f*. L' area, entro cui succede l' incrociamento, sarà dunque un parallelogramma *e f g d*, entro il quale tutte le molecole si movono, urtandosi, piegandosi, ma senza che nessuna dimentichi la sua via, sicchè quelle di sud riescano a nord, e quelle di nord si trovino a sud. È entro quest'area, la quale potrebbe chiamarsi il *parallelogramma delle calme*, che succede l'elisione del moto, e il contatto tra l'aria calda di sud e l'aria fredda di nord; contatto di cui è conseguenza il raffreddamento dell'aria umida di sud, e quindi la concentrazione dei vapori, appena quell'aria, raffreddandosi, abbia raggiunto il suo punto di saturazione. Ma questi fenomeni non avran luogo, o almeno non avranno luogo nell'istessa misura e intensità, in tutta l'area del parallelogramma. È soltanto nel mezzo, cioè sulla linea *e g*, che le correnti opposte, occupando tutta l'altezza dell'atmosfera, e mutuamente compenetrate nella loro totalità, presenteranno la massima superficie di contatto, quindi il massimo attrito, e le condizioni più favorevoli per la mutua cessione del calorico, e quindi per la massima concentrazione dei vapori. Prevalentemente adunque sulla linea *e g*, che noi chiamiamo *asse delle calme*, avranno luogo i fenomeni caratteristici di esse, l' immobilità dell'aria e le pioggie. Si verificherà ciò su tutto l' asse verticale delle calme? Si pensi, che nelle regioni superiori verso il punto *e* si verifica la massima differenza delle temperature; ma le correnti hanno appena cominciato a mescolarsi. Nelle regioni inferiori verso il punto *g*, dopo il lungo corso di contatto delle correnti, dev'essere assai diminuito lo squilibrio delle temperature. Le massime ragioni quindi della concentrazione dei vapori, se stanno sull'asse *e g*, dove è massima la superficie di contatto, stanno in un punto medio di quest'asse, dove le correnti siano già mescolate, ma non equilibrate per rapporto alla loro temperatura. Se tutte le ragioni si bilanciassero perfettamente, la concentrazione dovrebbe avvenire in *h*, punto centrale del parallelogramma *e f g d*. Ma fissare il punto ove la concentrazione accadrà in effetto è difficile, anzi impossibile, dipendendo dal grado di saturazione in cui si trovano i venti, e da mille altre

condizioni al tutto variabili. Quello che abbiam detto basta però per intendere, come la condensazione dei vapori deve aver luogo, secondo tutti i gradi di probabilità, sull'asse delle calme, in un punto medio tra la superficie della terra e i limiti superiori dell'atmosfera.

76. Le isole Canarie sembrano fatte a bella posta per mettere in evidenza, e rendere, per dir così, esperimentale, tutto questo sistema di venti, di calme, di incrociamenti. Abbiamo già veduto come la sommità del Picco di Teneriffa sia, durante l'estate, esposta continuamente al contro-alizeo sud ovest, mentre sulle coste delle Canarie soffia l'alizeo nord-est. Ma quelle isole sorgono entro la zona di oscillazione delle calme, le quali durante l'estate passano a nord di quelle isole, mentre d'inverno si trasportano a sud, rimanendo quelle isole stesse entro il dominio del vento extra-tropicale sud-ovest. Il modo con cui si verifica in quelle isole il cambiamento dei venti e delle stagioni è tale, ripeto, da rendere veramente palpabile il sistema di Maury.

77. Il seguente diagramma è una ripetizione del precedente, salvo che vi è figurato il Picco di Teneriffa p nelle diverse posizioni in cui deve trovarsi, per rispetto alle calme oscillanti.

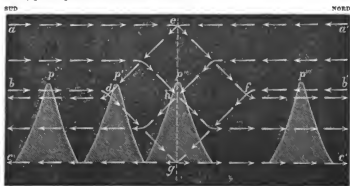



Fig 5. Oscillazione delle calme sul Picco di Teneriffa.

Durante l'estate, come abbiam detto, le calme si trovano a nord delle Canarie, e la figura ci mostra il Picco p tutto immerso nella zona del vento alizeo nord-est, salvo la cima, che sporge entro la zona del contro-alizeo sud-ovest. Viene l'inverno; e le calme, che ora trovansi a nord, tendono a portarsi a sud, il che vuol dire che il Picco, che ora si trova a sud, dovrà, come lo mostra la figura, portarsi a nord, passando attraverso al parallelogramma delle calme. Quando il Picco tocca l' angolo d del parallelogramma delle calme, il contro-alizeo sud-ovest, che prima ne toccava soltanto la sommità, ora andrà discendendo sempre più verso la sua base, mano mano che il

Picco s'inoltra verso l'asse delle calme, come si vede trasportando successivamente il Picco da p' a p''. Difatti, dice espressamente Marié Davy, « il vento ovest o sud-ovest si abbassa gradualmente col sopravvenire dell'inverno. » Mano mano che il Picco si avanza verso l'asse delle calme, vanno rendendosi per lui, e per le Canarie in genere, sempre più forti le ragioni, perchè si determinino le piogge caratteristiche delle calme. Queste piogge potranno essere di breve durata, corrispondendo unicamente all'epoca del passaggio dell'asse delle calme su quelle montagne. Le piogge stesse dovranno poi determinarsi, come abbiamo dimostrato, a una certa altezza, che è difficile fissare *a priori*. « Delle nubi, continua Marié Davy, venute da queste direzioni (cioè da ovest o sud-ovest, colla corrente calda e umida, i cui vapori si vanno condensando, mano mano che essa s'incrocia col vento polare nord-est) inviluppano la sommità del Picco, verso il mese di ottobre: il loro livello si va facendo sempre più basso, finchè si arrestano immobili sulle creste delle montagne, sorgenti fra Orotava e la costa sud, a un'altezza di circa 1800 metri sul livello del mare. Là danno origine a temporali di un'estrema violenza. » Ecco adunque il Picco nel cuore delle calme, cioè nella situazione, in cui lo mostra la figura in p''. Oltrepassato l'asse delle calme, il Picco è fuori del dominio del vento alizeo nord-est, e dovrà presto sentire, anche alla sua base, quel vento sud-ovest, a cui era prima esposta la sua vetta soltanto, e il contro-alizeo sud-ovest superiore, divenuto vento inferiore extra-tropicale sud-ovest, dominerà su quelle isole durante l'inverno, quando il Picco si trova in p''', a nord delle calme. « Otto giorni dopo che i temporali imperversano sulle isole, i venti di sud-ovest, continua Marié Davy, si fanno sentire alla superficie del mare, e vi soggiornano per parecchi mesi. » Che sono codesti venti di sud-ovest, se non quegli stessi venti di sud-ovest, i quali dapprima toccavano soltanto la punta del Picco di Teneriffa, che discesero poi gradatamente, e si fecero sensibili alla superficie del mare, dopo alcuni giorni di temporali caratteristici delle calme tropicali? E non l'abbiamo noi letteralmente accompagnato nella sua discesa, in modo che ogni equivoco fosse tolto, circa l'origine del vento extra-tropicale, e il suo incrociamento col vento polare, che discende, per divenire alizeo? Se i rapporti di altezza tra le correnti inferiori o superiori si conservassero esatti a nord e a sud; se il Picco si trovasse a uguale distanza dall'asse delle calme d'estate come d'inverno, se infine, mutato il luogo, le condizioni fossero eguali, salendo sul Picco durante l'inverno, si dovrebbe cogliere il vento polare nord-est su quella vetta istessa, dove domina d'estate il contro-alizeo sud-ovest. Io credo che ciò si sarebbe già verificato, se i viaggiatori non trovassero naturalmente più favorevole l'estate per salire all'altezza di 3710 metri.

78. Venendo ora finalmente alle calme polari, che rimangono sole a dimostrarsi, perchè il sistema di Maury possa dirsi tradotto in un fatto, Parry e Barrow furono condotti da certi argomenti a pensare che esistesse realmente una regione di calme verso i poli; e ultimamente, dice Maury, Bellot la constatò nella zona glaciale. Del resto, trattandosi di calme che si verificherebbero nelle latitudini più avanzate verso i poli, forse non più presto dell' 80° grado, chi pretenderebbe finora di averne precise notizie? Mi permetterò tuttavia di lanciare un' idea in proposito.

79. L'impressione che mi è rimasta, dopo la lettura dei diversi viaggi di esplorazione, spinti fin oltre l' 82°, è quella di un' orrida calma, regnante in quelle inospiti regioni. Fra le immenso difficoltà che dovettero superarsi dagli intrepidi esploratori, non trovo farsi menzione mai, o quasi mai, di quei venti impetuosi, di quelle *tormente*, che rendono così perigliosi i passaggi alpini nelle latitudini più temperate, dove, ad onta della elevazione, il freddo è ben lontano dal raggiungere i rigori delle regioni polari. Trovo che i bastimenti, impigliati nel ghiaccio, e sepolti nella neve, poterono svernarvi anni interi. Trovo che quei coraggiosi poterono liberamente darsi alla caccia e intraprendere lunghi viaggi di esplorazione; che Barry potè recarsi in slitta fin oltre l'82°; che Kane dimorò lungo tempo in riva a un tepido mare, popolato da uccelli acquatici. Le descrizioni, che interrompono la monotomia di quelle narrazioni, non sono già di turbini o di bufere, ma di aurore boreali che rischiarono di luce perenne le calme di quelle eterne notti. Se ai rigori del cielo si fosse aggiunto il soffio delle alpine bufere, io credo che nessuna potenza di mezzi, nè energia di volontà, avrebbe mai potuto portare l'uomo così presso ai cardini del globo.

80. Non volendosi tuttavia accordare un decisivo valore alle prove di fatto, che abbiamo gia raccolte, le calme polari sono una mera necessità, che deriva, per legge fisica e meccanica, da quello stesso sistema de' venti, che ci pare dimostrato. In qual modo?

Supponiamo che ora, per la prima volta, l'aria accumulata sulle regioni dell'equatore, e attrattavi incessantemente dalle regioni laterali, si precipiti dall'alto verso i vuoti poli. Le molecole aeree, giuntevi colla stessa velocità da tutti i punti meridiani, si incontrano al polo, come i raggi al centro, e vi si affollano, vi si urtano. Mosse dalla loro velocità iniziale, e spinte dall'afflusso incessante dell'aria, che si rovescia dalle alture dell'equatore, dove anderanno? In basso no, perchè vi si oppone il solido nocciolo del globo; ai lati no, perchè vi si oppone la corrente che affluisce da ogni parte. Altra via loro non resta, che di moversi verso l'alto, seguendo una risultante, che si approssima più o meno alla verticale, rovesciandosi poi, sui lati, appena raggiunta una tale altezza, che l'afflusso

della corrente inferiore dia luogo. Trattasi del resto di uno dei fenomeni più volgari. Che avviene di una corrente d'acqua, quando incontra un ostacolo? rigurgita; cioè si estolle verticalmente, poi si rovescia sopra sè stessa, finchè trovatasi a un livello superiore all'ostacolo, ripiglia il suo corso. Quando (caso frequente nelle Alpi) due torrenti confluiscono, o per opposta via, o sotto un angolo qualunque, ne nasce un rigurgito; l'acqua si leva turbinosa, talora a considerevole altezza, e ricade sopra sè stessa. Che sarebbe, se tutti in un sol punto confluissero, da tutte le parti, tutti i fiumi del globo? Le acque sorgerebbero a guisa di un getto gigantesco, ricadendo sulle acque, che costantemente confluiscono allo stesso punto. Così avviene dell' aria ai poli; e così si creano le calme polari, le quali devono essere, contrariamente e ciò che si verifica per le calme tropicali equatoriali, calme serene, non essendoci nessuna ragione di concentrazione di vapori, dove avviene l'incontro di correnti, che godono esattamente della stessa temperatura, e sono oltre a ciò esaurite dalle piogge versate sulle terre, prima di giungere ai poli.

81. Mentre l'aria si estolle entro la cerchia delle calme polari (incrociandosi però, come io credo, per effetto della velocità iniziale, come dimostreremo dover avvenire nelle calme equatoriali), non sente perciò meno il richiamo del vuoto che si opera nelle regioni superficiali dell'equatore, cui è chiamato a riempire. Per qual via vi potrà giungere? non ve ne ha altra se non quella di gettarsi attraverso le correnti d'aria inferiori, incrociandole, come abbiamo già largamente dimostrato che avviene. Tale incrociamento è reso tanto più facile nel senso che, come pure abbiamo dimostrato, l' aria che incrocia, dovendo occupare coll'aria incrociata tutta l' altezza dell'atmosfera, senza accrescerne sensibilmente la densità, non può farlo che a patto di raddoppiare il suo volume, e quindi ridurre a metà la sua densità. Le due correnti si verrebbero ad attraversare, quasi come due getti d'acqua ridotti a spruzzi. Ma di ciò *satis superque*.

82. Con quanto abbiamo dimostrato finora resta esaurito ciò che riguarda la circolazione atmosferica in ciascun emisfero, preso isolatamente. Ci rimane quell'unico fatto, per cui i due emisferi sono l'uno all'altro legati nel sistema della circolazione atmosferica. È il punto apparentemente più difficile a provarsi, quello dello scambio dell' aria proveniente da nord con quella che viene da sud e viceversa, cioè l' incrociamento sull'equatore delle correnti boreali colle australi, e viceversa. Eppure io credo che la cosa sia necessaria assolutamente. Comincio a riflettere a un fatto, che mi parrebbe difficile, se non impossibile, a spiegarsi, non ammettendo lo scambio dell' aria tra i due emisferi. Parlo dell'identità specifica dell'aria stessa nei due emisferi, riconosciuta e altamente proclamata dai fisici. Si pensi ora alla enorme

differenza fra le condizioni dei due emisferi, per ciò appunto che essi possono influire sulla composizione dell'atmosfera. A nord dell'equatore abbiamo un emisfero, che si può dire l'*emisfero delle terre*, mentre quello a sud può dirsi l'*emisfero dei mari*. L'atmosfera a nord riceve e dà gli elementi di un ingente lavoro di composizione e di scomposizione, che si opera con attività immensa sopra una superficie di milioni e milioni di chilometri quadrati. Le piante, formanti un immenso tappeto disteso sulla superficie di tutti i continenti, assorbono, come ognun sa, una quantità enorme di gas acido carbonico, secretando una quantità corrispondente di ossigene, mentre gli animali, sparsi sui continenti in numero non minore delle piante, assorbono l'ossigene ed esalano il gas acido carbonico. Nell'emisfero sud la vita terrestre animale e vegetale si riduce a superficie limitatissima, e quindi a quantità minime il prodotto di quella potente elaborazione. Dimando se questo non dovrebbe già bastare a produrre un sensibile divario tra l'aria di ciascun emisfero, quando non se la scambiassero vicendevolmente? Si dirà che i vegetali e gli animali, col rispettivo modo di respirazione, agiscono como compensatori, in rapporto all'atmosfera, versandovi i vegetali quell'ossigene che gli animali assorbono, e gli animali quell'acido carbonico che i vegetali si appropriano. Sappiamo però che durante la notte anche i vegetali, al pari degli animali, emanano il gas acido carbonico, assorbendo anch'essi l'ossigene. Ammesso però anche che i vegetali e gli animali di uno stesso emisfero si compensino esattamente, in guisa che la composizione dell'aria non riesca sensibilmente alterata, potremo noi ugualmente trovare, sempre nello stesso emisfero, delle ragioni di compenso per tutto quelle azioni che tendono a modificare la composizione dell'aria? La superficie dei continenti può considerarsi come una immensa superficie di putrescenza, dove l'energia delle forze chimiche si esercita, quanto più può immaginarsi, molteplice e potente. La formazione dell'*humus* avviene per la decomposizione dei vegetali, su tutta la superficie delle terre, con immenso sviluppo di gas acido carbonico. Il gas idrogene carburato esala in gran copia dagli stessi vegetali putrescenti, e dal seno delle paludi, distese così largamente in tutto l'emisfero boreale. L'azoto, il gas idrogeno fosforato si svolgono dalle sostanze animali che imputridiscono dovunque. Aggiungi al poco che si dice e al molto che si tace per brevità, il gran fatto che tutte le superficie dei continenti non darebbero, per evaporazione, una stilla di pioggia o di rugiada, se prima non venissero abbondantemente irrorate dall'atmosfera. L'emisfero australe, il quale, in luogo di una superficie, che si può definire un laboratorio chimico di tanti milioni di miglia quadrate, destinato a versare nell'atmosfera torrenti di sostanze

gasose, e a riceverne altrettanti, in tutti quei processi colossali di respirazione, di fermentazione, di combustione, di ossidazione, l'emisfero australe, dico, il quale presenta, in luogo di tutto questo, una semplice caldaia di evaporizzazione, potrebbe egli mantenere, dopo il corso di tanti secoli, un'atmosfera identica a quella dell'emisfero boreale? Per convincere quelli cui non bastasse un tale confronto generico tra i due emisferi, bisognerebbe ridurre a calcolo quanto si consuma e quanto si produce in ciascun emisfero di quelle sostanze che si annoverano fra gli essenziali e fra gli accidentali componenti dell'atmosfera. Se il calcolo non si può instituire al presente per tutti i componenti, lo si può già tuttavia per uno dei più importanti. Parlo del vapore acqueo, a cui si deve l'umidità dell'atmosfera, e da cui dipendono le pioggie e le altre meteore acquee. Questo calcolo fu fatto, e il risultato depone trionfalmente in favore dell'incrociamento equatoriale. Ci riserviamo di presentarlo ai lettori appena avremo studiate le leggi, secondo le quali l'atmosfera soddisfa al geloso ufficio della irrigazione del globo.

83. Intanto, ragionando anche semplicemente in base alle leggi della meccanica, parmi che l'incrociamento equatoriale risulti come un effetto necessario di quelle stesse cause, da cui vedemmo risultare gli incrociamenti tropicali. Nelle mie *Note ad un corso di geologia* aveva messo innanzi l'idea di Maury, che gli incrociamenti dipendessero dal magnetismo terrestre, senza spiegare per altro le ragioni di tale dipendenza. Ora le ragioni meccaniche sembranmi bastanti. Una molecola sull'equatore trovasi in quello *stato* che dicesi *di indifferenza*, ed è quello di un corpo sostentato da due forze opposte ed uguali che mutuamente si elidono. Ugualmente at-

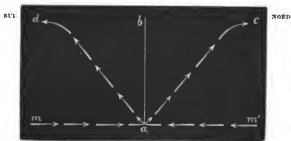



Fig. 6. Incrociamento equatoriale dei venti.

tratta verso i due poli, non ha bisogno che di una spinta, per quanto minima, per ubbidire all'una piuttosto che all'altra attrazione, e tale spinta la trova altrove. Supponiamo infatti una molecola *m*, la quale, come è

espresso nel diagramma della fig. 6, parta dal polo sud, arrivi come alizeo sull'equatore nel punto a. Là, divenuta più leggera pel riscaldamento, è sollecitata da una forza, la quale la solleva verticalmente secondo la linea $a\,b$. Ma quella molecola, giunta in a, conserva ancora una certa porzione della velocità iniziale, che la spingerebbe a oltrepassare il punto a, e a dirigersi verso nord. Questa forza non è elisa interamente dall'urto colle molecole che derivano da nord, come lo attesta tutto il sistema della circolazione atmosferica, e come si può ritenere *a priori*, pensando alla elasticità ed estrema mobilità delle molecole aeree, le quali possono facilmente, urtandosi, strisciare le une sulle altre. La nostra molecola dunque, giunta in a, è sollecitata da due forze, normali l'una all'altra, una che la leva in alto sulla verticale ab, l'altra che la spinge sulla orizzontale $a\,m^1$: dovrà dunque seguire una diagonale $a\,c$, la cui obliquità rimane indeterminata. Si troverà dunque di avere oltrepassato il punto di indifferenza, e ubbidirà a quella forza di attrazione prevalente, che la porta verso nord. Per la stessa ragione una molecola m^1 la quale venga da nord, dovrà seguire la diagonale $a\,d$, o portarsi verso il polo sud. Una tale spiegazione dell'incrociamento equatoriale mi pare tanto semplice, quanto rigorosamente logica.

CAPITOLO III.

LA CIRCOLAZIONE ATMOSFERICA ORDINATA ALLA DISTRIBUZIONE DEI VAPORI ED ALLA IRRIGAZIONE DEL GLOBO.

84. Delineato ne' suoi grandi tratti il sistema della circolazione atmosferica, prima di entrare nel campo delle eccezioni, alle quali esso sistema è pure soggetto, giovi studiare, ugualmente nei tratti più generali, i diversi uffici a cui esso sistema è ordinato nella grande economia del globo. L'atmosfera, colle sue correnti, è destinata specialmente alla distribuzione dei due grandi fattori della attività tellurica e della vita organica, il calore e l' umidità.

85. Il fatto delle eccessive temperature, che già si verificano in più ed in meno, se si confrontano le regioni polari colle equatoriali, ci dice la posizione del sole sull' eclittica essere tutt' altro che atta a distribuire equamente la temperatura sulla superficie del globo. Supponendo che essa distribuzione del calorico dipendesse unicamente dai rapporti tra il sole e la terra, avremmo entro i tropici una temperatura sì alta, a cui non resisterebbe nessun essere organico: lo stesso si verificherebbe per le regioni polari per l' eccesso opposto. Per meglio dire, l' emisfero settentrionale e l'emisfero meridionale sarebbero alternatamente soggetti ai due estremi. La più volgare esperienza e i primi rudimenti di geografia fisica ci persuadono di ciò, senza aver bisogno di ricorrere ad una esatta dimostrazione. Il sole è la principale sorgente del calore; ma la distribuzione di questo, il primo elemento della vita fisica e organica, è affidata a diversi agenti, ed anzitutto ai venti. Il rimutarsi continuo dell' aria dall'equatore ai poli e dai poli all' equatore, che altro è in effetto se non un rimutarsi dei calori dei tropici colle frescure dei poli e viceversa? Ciò impedisce gli eccessi di caldo e di freddo, e, se non riesce a procurare l'uniformità della temperatura tellurica, procaccia almeno una certa equità, che rende abitabile tutta la superficie del globo. Ma ancora la distribuzione del calorico dovrebbe essere perfettamente uniforme sui singoli paralleli, decrescendo uniformemente dall'equatore ai poli. Con altre parole, le linee isotermiche dovrebbero coincidere coi circoli paralleli. Ciò non si avvera,

mentre al contrario abbiamo sotto le stesse latitudini enormi differenze nelle medie temperature, oltre tutti quei parziali squilibri, quei graduati o rapidi passaggi dai massimi ai minimi, infine quelle multiformi oscillazioni di temperatura, che entrano come primari costitutivi di un clima. Ciò si verificherebbe se la superficie della terra fosse uniforme. Ma la terra è divisa in terre e in mari; i continenti hanno diversi rilievi: i rilievi presentano natura, forma, orientazione diverse. Tutte ragioni, che debbono influire fisicamente e meccanicamente sulle correnti atmosferiche, riscaldarle, o raffreddarle, impedirle, deviarle. Basta, del resto, la più volgare esperienza ad insegnarci come la distribuzione del calore, per mezzo delle correnti atmosferiche, debba essere potentemente informata dalla distribuzione delle terre e dei mari, e dalle diverse condizioni in cui si possono trovare principalmente le superfici continentali. Prescindendo da ogni teorica, l'esperienza ci dice troppo bene, p. es., come, partendo da una certa elevazione, tanto minore quanto le terre sono più lontane dall'equatore, i rilievi del globo agiscono come refrigeranti. Le nevi perpetue che imbiancano le cime delle Cordigliere sotto l'equatore, ci dicono quanto sia il potere refrigerante di un rilievo su quella stessa zona, ove il potere calorifico si esercita nel maggior grado. Questo potere refrigerante è esercitato con eguale e anche maggior attività dalle superfici continentali le più depresse, o fin dalla superficie del mare nelle regioni polari. Se prendiamo invece una superficie depressa nelle regioni equatoriali, questa invece diventa un bracere, in cui l'atmosfera si riscalda, come è il caso del Sahara. L'atmosfera, circolando, riceve il calore dove irradia in eccesso; lo dà in vece dove se ne verifica il difetto; e così, volgendosi con moto continuo da nord a sud e da est a ovest, lavora a stabilire l'equilibrio delle temperature: e veramente lo stabilirebbe, se non fossero permanenti le cause di squilibrio. Siccome tra queste cause di squilibrio havvi la distribuzione e la configurazione dei mari e dei continenti, una diversa distribuzione e una diversa configurazione di essi potrebbero diminuire le cause di squilibrio, e favorire l'opera dell'atmosfera, intesa continuamente a stabilire l'equilibrio della temperatura su tutta la superficie del globo. Qui appare per la prima volta ciò che sarà per altre ragioni dimostrato, il clima delle diverse regioni essere legato alle condizioni attuali di tutte le regioni del globo, e dover quindi variare quando esse condizioni variassero, e specialmente quando fossero mutate la distribuzione e la configurazione dei continenti.

86. Io non entro nei particolari della distribuzione del calore alla superficie della terra, in quanto deve rispondere al sistema della circolazione atmosferica, tenuto calcolo della attuale disposizione de' continenti e de'

mari. Siccome, sotto questo rapporto, i fenomeni del calore si svolgono esattamente paralleli a quelli della umidità, basterà che ci intratteniamo più specialmente di questi, i quali riescono di fatto l'espressione di quelli. I venti di sud-ovest, per esempio, che spirano dalle regioni equatoriali verso le regioni polari, dovranno essere ad un tempo caldi e umidi: freddi e secchi invece quelli che soffiano da nord-est, venendo dai poli all'equatore. Una catena, sorgente sull'equatore, agisce in pari tempo come superficie refrigerante, e come condensatore dei vapori. Intratteniamoci dunque a preferenza di quell'altro ufficio dell'atmosfera, che consiste nella distribuzione dei vapori sulla superficie del globo, e vediamo come nelle pioggie principalmente si traduca il sitema della circolazione atmosferica.

87. L'aria, passando sulla superficie di un liquido, quando non sia già satura di vapori, ne riceve una quantità corrispondente al suo grado di temperatura. In questo senso i mari rappresentano enormi caldaje di evaporazione, la cui attività sarà tanto maggiore, quanto lo è la loro vicinanza all'equatore. L'atmosfera si impregna di tutti questi vapori, e seco li trasporta nel vortice delle sue rivoluzioni, finchè non esista una causa che la obblighi a cederli, condensati in pioggia, in neve, o grandine, o brina, o rugiada. La ragione della condensazione, come a tutti è noto, sta nel raffreddamento dell'atmosfera. Quando la quantità dei vapori sia maggiore di quella che è necessaria per saturare l'aria a un dato grado di temperatura, l'eccesso deve condensarsi, e sarà abbandonato dall'aria, allo stato liquido o solido, secondo i casi.[1] Le principali ragioni dell'abbassamento

[1] Per quanto si andrà dicendo nei seguenti paragrafi, credo bene avvertire che, quando si dice *aria secca, aria umida, venti di sereno, venti di pioggia*, si esprimono dei termini relativi. Un vento sarà secco e sereno, anche contenendo una grande quantità di vapore, quando per l'alta temperatura non sia saturo: viceversa un vento potrà essere umido, benchè povero di vapori, i quali però bastano a saturarlo, perchè freddo. Ne consegue che lo stesso vento sarà di sereno o di pioggia, secondo che la sua temperatura si alza o si abbassa. Gli alizei sono venti secchi o sereni per eccellenza, eppure alimentano il maggior bacino pluviale del globo, divenendo venti di pioggia sulle alture del Rio delle Amazzoni. Lo stesso vento può essere alternatamente sereno e piovoso. I venti sud-ovest, per esempio, che innondano di pioggie i versanti italiani delle Alpi, passano come venti sereni sulla Svizzera, per ritornare piovosi sulle catene più avanzate verso il polo. Così il grado relativo di secchezza o di umidità di un clima non va misurato sulle quantità annuali di pioggia che cadono in una regione. L'aria può mantenersi perennemente umida, e quindi stabilire un clima costantemente umido, benchè, povera di vapori, non possa recare che un tenue tributo di pioggia. Invece in una regione, distinta per la secchezza del clima, può cadere in un sol giorno una tale quantità di pioggia, che uguagli la quantità che cade nel corso di più mesi in un altro luogo distinto per l'umidità del clima. Il clima della zona torrida è in genere assai secco, mentre umido è quello delle zone temperate, eppure i diluvi equatoriali sono caratteristici di quella zona. Alle Cajenne (Guiana) caddero in 10 ore circa 27 centimetri di pioggia, quasi un $1/3$ della quantità (96 centimetri) che cade annualmente a Milano. A Parigi e a Londra la quantità annuale di pioggia supera di poco la metà di quella che si raccoglie a Milano, eppure sono così celebri i fanghi di Parigi e le nebbie di Londra.

della temperatura, e quindi della condensazione dei vapori atmosferici, sono tre.

1.° La semplice elevazione. — È noto come la temperatura diminuisce in proporzione dell'altezza sopra il livello del mare. Per questa sola ragione l'aria che si eleva può raffreddarsi, e dar luogo a concentrazione di vapori. Si può considerare questa come la sola ragione generale delle pioggie quasi perpetue sulla zona delle calme equatoriali, ove l'aria, sopraccarica di vapori attinti agli oceani equatoriali, si eleva di slancio fin oltre i picchi nevosi dell'America equatoriale.

2.° L'incontro di una corrente calda e umida con una corrente fredda. — È la ragione per cui ugualmente si perpetuano le pioggie sulle zone delle calme tropicali, ove i contro-alizei caldi e umidi si incontrano e si incrociano coi freddi venti polari.

3.° L'incontro sotto qualunque latitudine di una corrente d'aria con un rilievo sufficiente a produrre la concentrazione dei vapori, mediante il raffreddamento. — Senza perderci nella teorica, che è peraltro a cognizione di tutti, basti per noi il fatto universale, che le grandi catene del globo, sotto qualunque latitudine, ma a un'altezza proporzionale a ciascuna latitudine (maggiore per le latitudini equatoriali, minore per le polari), agiscono come superfici refrigeranti, contro le quali i vapori vanno a concentrarsi con meravigliosa rapidità. Le nevi perpetue, di cui biancheggiano le Cordigliere sull'equatore, ci dicono, come anche nelle regioni più calde del globo, un rilievo appena considerevole basti a produrre la concentrazione dei vapori, quindi le pioggie e le nevi. Importa assai il riflettere (o l'abbiamo già avvertito per ciò che riguarda la distribuzione del calore) come questa terza causa della concentrazione dei vapori atmosferici può dirsi affatto accidentale e mutabile, per rapporto al sistema della circolazione atmosferica, il quale deve considerarsi come essenziale e immutabile, dipendendo dai rapporti fra la terra e il sole. Nulla in fatti ci obbliga a supporre che i rilievi terrestri siano stati o debbano essere sempre ugualmente distribuiti come oggi. Variando la distribuzione dei rilievi sulla superficie del globo, agirebbero sempre ugualmente come superficie refrigerante; ma il modo di distribuzione, l'economia del calore e dei vapori, in fine il clima, rimarrebbero universalmente alterati. Lo sarebbero ugualmente, variando l'altezza relativa degli stessi rilievi.

88. Mentre consideriamo come accidentale l'azione che esercitano i rilievi terrestri, non lasceremo però di considerarli come causa primaria, principalmente per ciò che riguarda la distribuzione dei vapori sulle singole terre, dell'importante ufficio dell'irrigazione del globo affidato all'atmosfera,

talmente, che possiamo quasi prescindere dalle altre due cause, e ritenere che l'irrigazione del globo, o quindi il clima, nel significato più ampio della parola, sono come la risultante del sistema della circolazione atmosferica e della distribuzione dei rilievi stessi. Il sistema delle pioggie sui diversi continenti deve quindi rispondere al sistema della circolazione atmosferica, e tradurlo in un fatto visibile e palpabile in tutte le più minute particolarità.

89. Secondo una bella similitudine di Maury, nel grande impianto della irrigazione del globo, l'atmosfera figura come una gran macchina idraulica, di cui i mari sono la caldaja, e i continenti, sopratutto i grandi rilievi, il condensatore. È una macchina il cui lavoro è veramente enorme! La quantità annuale delle pioggie è tale da coprire l'intera superficie del globo di uno strato acqueo dell'altezza di 1^m, 52. I venti dunque devono levare nelle regioni aeree, annualmente, tal massa d'acqua che può rappresentarsi da un lago della larghezza di 3000 miglia, della lunghezza di 21,000 miglia e della profondità di quasi 5^m (4^m, 87.). Questa macchina idraulica è calcolata di una forza eguale a 800 volte tutta la potenza idraulica d'Europa.

90. Premesso questo, vediamo come infatti la distribuzione delle pioggie sui continenti risponda al sistema della circolazione atmosferica per noi adottato.

Il sistema della circolazione atmosferica porta dapprima che i venti caldi e umidi, partendo dall'equatore, si volgano ai poli per la via ovest (sud-ovest per l'emisfero boreale, nord-ovest per l'emisfero australe). Prima venti superiori nelle regioni equatoriali, divengono poi inferiori oltre le calme tropicali, dominando nelle regioni temperate e fredde. Nelle regioni oltre i tropici adunque sono i versanti occidentali delle catene che si oppongono ai venti, e devono spremerne le pioggie. Nelle regioni equatoriali invece i versanti orientali sono gli esposti al soffio perenne degli alizei, che vengono da est (nord-est per l'emisfero boreale, sud-est per l'emisfero australe). Quei versanti saranno dunque piovosi, mentre gli opposti saranno, almeno relativamente, sereni. La più mediocre tra le carte udometriche risponde in senso pienamente affermativo alle nostre previsioni teoriche. Quali sono in fatti le regioni del globo più distinte per l'abbondanza delle pioggie? Nella zona degli alizei i versanti est: tutte, p. es., le coste orientali dell'America meridionale e centrale, e le coste orientali dell'Africa entro i limiti delle regioni equatoriali. Nelle re-

[1] Secondo Johnston, la quantità annuale della pioggia, che cade sul globo, è di 186,250 miglia cubiche.

gioni temperate o extra-tropicali, sono i versanti ovest: p. es. le regioni occidentali dell'America al di sopra del 40° di latitudine, i versanti occidentali d'Europa, e, nell'emisfero australe, la Patagonia occidentale. Le cose sono a tal punto, che avremmo ovunque un' alternanza di paludi e di deserti, un versante sempre innondato e un altro sempre secco, se non vi fossero tanti sistemi di compensazioni, ossia disturbi provvidenziali del sistema della generale circolazione, dei quali ci occuperemo più tardi. L'Europa, p. es., è, come meglio vedremo in seguito, la regione delle eccezioni per ciò che riguarda la circolazione atmosferica. La straordinaria irregolarità e moltiplicità de' suoi rilievi, il frastaglio veramente eccezionale delle sue coste, la presenza del più gran mare interno, il trovarsi rimpetto al più grande braciere del globo, tutto in fine ci dice come il disordine della circolazione atmosferica debba giungervi al colmo.

91. Tuttavia le risultanze e le prevalenze vi tradiscono sempre, a tratti abbastanza spiccati, il sistema generale della circolazione atmosferica. Noi non abbiamo nè regioni assolutamente secche come il Perù, nè assolutamente bagnate, come la Patagonia occidentale. I venti, alternandosi continuamente da nord e da sud, con tutti i gradi possibili di obliquità, irrigano alternatamente i diversi versanti delle nostre catene. I versanti occidentali però sono sempre i meglio irrigati. In Norvegia, cioè sui versanti occidentali della penisola scandinava, piove assai più che in Svezia, cioè sui versanti orientali della penisola stessa. A Bergen (Norvegia), p. es., si misurano annualmente $2^m,25$ di pioggia (più che in nessun' altra città d' Europa); mentre in Svezia la media è di $0^m,54$. Le condizioni della Norvegia si ripetono, secondo Marié Davy, nel nord-ovest della Francia e dell' Inghilterra, e quelle della Svezia nella Germania e nella Russia del nord. Le stesse differenze e le stesse analogie, soggiunge il medesimo autore, si verificano, sempre negli stessi rapporti, in tutte le catene dell' Europa e dell'Asia.

92. Il doppio continente americano, colla grandiosa semplicità delle sue linee orografiche, e colla sua ubicazione, sembra creato espressamente per mettere alla prova tutto il sistema della circolazione atmosferica. Dal polo nord, ove si radica nel gran cespo dei continenti boreali, si spinge fin oltre il 50° di latitudine sud, incrociando tutta la doppia zona degli alizei, le tre calme che ne segnano i confini, e le due larghe zone dei venti extra-tropicali. Le sue maggiori catene, sviluppate quasi sopra una retta da nord a sud, si alzano quasi una muraglia nell'atmosfera, opponendosi, quasi diaframma, a tutti i venti della terra, e costituendo un grande apparato refrigerante, li dividono in venti secchi e in venti di pioggia, spiranti a est o a ovest, secondo che la grande catena si svolge nelle re-

gioni eqnatoriali, piuttosto che nelle regioni extra-tropicali. Entro la doppia zona degli alizei si dispiega il grosso dell'America meridionale, allargando in faccia ai dne alizei di est l'immenso bacino riunito dell'Orenoco e del Rio delle Amazzoni, in seno al quale oscillano perpetuamente

Fig. 7. — Carta dei venti d'America secondo il sistema di Maury.

le calme dell'equatore. Ai venti alizei si oppongono, in fondo al grande bacino, gli altipiani equatoriali e le Cordigliere, che rizzano le loro creste fino all'altezza di 7000 metri, difendendo dal loro soffio le anguste sponde del Pacifico. Nella zona dei venti extra-tropicali nord-ovest si

perde, assottigliandosi, il continento meridionale. L'eccelsa Cordigliera determina i due versanti della Patagonia, presentando l'occidentale ai venti e difendendono l'orientale. Nella regione dei venti extra-tropicali sud-ovest si alzano le catene, pure altissime, che versano nel gran bacino del Mississipì. Tale disposizione del continente americano per rapporto alle correnti atmosferiche, è espressa nella unita fig. 7. Le condizioni delle diverse regioni da noi accennate, se è vero il sistema della circolazione atmosferica per noi adottato, devono esser decisamente conformi ad esso sistema: e quanto lo siano, vediamolo brevemente.

93. Il grande bacino del Rio delle Amazzoni è, secondo il sistema, fra le regioni del globo, quella che si trova nelle migliori condizioni per costituire il più grande bacino di irrigazione. I venti alizei vi confiniscono, dopo essersi imbevuti delle acque dell'Atlantico, e non aspettano che l'azione di un condensatore, per versare la pioggia a diluvî. Tale ufficio è attivamente esercitato dalle Cordigliere, coperte di nevi perpetue, anche sull'equatore, e che aggiungono la loro azione a quella della elevazione che già determinerebbe per sè la concentrazione dei vapori sotto le calme equatoriali. Bisogna riflettere infatti come l'aria ascendente nella zona delle calme equatoriali, non cessa, in conseguenza del moto della terra, di moversi verso ovest, finchè non sia giunta all'altezza, in cui si piega per opposto cammino, divenendo contro-alizeo. Quell'aria dunque, così umida e calda, tutta si spinge contro l'enorme condensatore delle Cordigliere, nè forse (almeno una gran parte di essa) lo oltrepassa, perchè approssimativamente a quell'altezza si torce verso ovest. Ne consegue che le pioggie saranno torrenziali, continue; ma tutte si arresteranno entro il bacino. Il fatto risponde in ogni punto. Il Rio delle Amazzoni è il più gran fiume del globo per la copia delle acque. È un fiume che non conosce magra. È un immenso lago scorrente, che a volte a volte si trasforma in mare e allaga quella immensa regione. Il bacino delle Amazzoni è la regione delle foreste vergini, di quel grande *legnajo* impenetrabile, come lo chiama Humboldt, la cui estensione calcolata di 40 volte quella della Germania, attesta la vigoria generatrice di un clima, che associa al più alto grado di temperatura la quantità maggiore di umidità. Humboldt ci descrive gli sconfinati *llanos*, ridotti alternatamente in polverosi deserti, o in immense lagune. Tutti i viaggiatori che descrissero la Guiana, quel tratto immenso di basse terre, che si stende tra il 2° e l'8° di latitudine a nord dell'equatore, tra l'Orenoco e il Rio dello Amazzoni, non sanno di quali espressioni far uso per dipingerci l'umidità, e quindi l'immensa feracità di quel torrido clima. Percorsa da una rete di migliaia di fiumi, quella terra forma quasi un sistema di

basse isole, soggette a periodiche inondazioni. *Dans ce pays tout est fleuves et bois,* scrive un autore [1]. Le vergini foreste, composte d' alberi giganteschi, sono popolate da miriadi di insetti nocivi, di scorpioni, di ragni, di rettili, e tutto vi traduce quel parossismo di vita che deve perpetuarsi là dove si perpetuano nella maggiore energia i due grandi elementi della vita animale e vegetale, il calore e l' umidità.

94. Può sembrare contradditorio il fatto che nelle regioni equatoriali le stagioni, quasi indistinte per riguardo alla temperatura, si dividono in stagione di pioggia e stagione di siccità. Non dovrebbero invece in quell'immenso bacino perpetuarsi le pioggie, come si perpetuano gli alizei, ed esservi sconoscinta la siccità? Si rifletta che i venti nelle regioni equatoriali, per quanto carichi di vapori, si riscaldano talmente, che saranno più presto atti ad assorbirne di nuovi che a concentrare quelli di cui già si imbevvero. Gli alizei, passando come venti inferiori sulla immensa superficie delle terre basse, infuocate dal sole de' tropici, in luogo di raffreddarsi, si riscaldano potentemente, per effetto del calore radiante, ed è questa appunto la ragione per cui l'aria si eleva nella regione delle calme. È appunto elevandosi, e buttandosi al tempo stesso contro le regioni più elevate, e contro le creste nevose delle Cordigliere, che l' aria si raffredda, e si concentrano i vapori. Le pioggie equatoriali saranno quindi un fenomeno quasi unicamente ristretto alla zona delle calme. Ma le calme oscillano, come tutto il sistema atmosferico, seguendo la marcia del sole che lo trasporta alternatamente da nord a sud e viceversa. Si alterneranno adunque sulle singole regioni di quello sconfinato bacino gli alizei e le calme, quindi i sereni e le pioggie. Humboldt ci lasciò una bella descrizione del mutarsi delle due stagioni nell'America eqnatoriale a nord dell' equatore.

95. Dal dicembre al febbrajo perfetto sereno: l'alizeo soffia regolarmente da est o est-nord-est, e le piante sono senza foglie, come da noi. Intanto il sole si approssima all' eqnatore, e con lui le piovose calme. In fatti verso la fine del febbrajo e sul principio di marzo l'azzurro del cielo si fa meno intenso, e l'aria più nmida. Comincia la primavera nelle regioni a nord dell' equatore. Le piante cominciano a germogliare: leggeri vapori ammorzano lo scintillare delle stelle, che brillano in quei cieli d'una luce sì viva: l'alizeo spira più debole, e a volte a volte il suo soffio alterna colla calma. A poco a poco nubi, simili a montagne, si ammassano a sud-sud-est, percorrendo il cielo talora con incredibile velocità, foriere

[1] *Voyage pittoresque dans les deux Ameriques publié sous la direction de* M. Alcide d'Orbigny. Paris, 1836.

delle calme equatoriali. Siamo alla fine del marzo. Il vento est-nord-est lascia per alcune ore il campo a un vento ovest-sud-ovest. I lampi solcano il cielo a mezzodì, e l'elettricità si mostra più tesa sul far della sera. Le pioggie sono vicine; ma sulle rive dell'Orenoco esse non arrivano che alla fine d'aprile. È allora appunto che il sole, e le calme con esso, hanno varcato la linea. L'azzurro del cielo s'è cambiato in grigio: i venti sono sfiniti, e nelle ore pomeridiane, quando la calma è più profonda, un forte temporale si leva nel piano, e versa torrenti di pioggia. Dapprima le pioggie vengono col pomeriggio, e scompajono la sera; ma quando il sole è allo zenith, quando su quelle terre incombono le calme equatoriali, le pioggie cominciano a cadere anche la mattina. La notte tuttavia è d'ordinario serena. Ognun vede come il regime climatologico delle regioni equatoriali non sia che una fedele espressione di quei tratti del sistema atmosferico che si verificano in quelle regioni.

96. Abbiamo detto più sopra che le Cordigliere difendono le sponde del Pacifico dai venti alizei, che vi recherebbero le pioggie, e come l'aria umida e calda dell'Atlantico non possa forse nemmeno oltrepassare la grande catena, perchè approssimativamente a quella altezza si ritorce sopra sè stessa nella direzione dei contro-alizei. Perciò, se il bacino delle Amazzoni è nelle circostanze più favorevoli per costituire una regione di pioggie, le anguste sponde del Pacifico, cioè il basso Perù e il Chilì settentrionale, offrono quanto di meglio si può ideare per costituire una regione ove le pioggie sono impossibili. Le pioggie sono infatti fenomeno ignoto al Perù; in questo concordano tutti i viaggiatori. Il basso Perù è un angusto piano inclinato, largo da 10 a 20 leghe soltanto, e consta in parte di deserti sterilissimi di sabbia, che non bebbero mai una stilla d'acqua. L'aria è così secca, che i cadaveri degli uomini e degli animali vi si mummificano spontaneamente. Il guano, di cui diremo meglio a suo luogo, attesta la eccezionale siccità di quel clima. Esso non è altro che sterco uccellino, che, non mai violato dalle pioggie, fu accumulato dai secoli in tanta copia, da acquistare l'importanza di una formazione geologica. Nelle stesse condizioni trovasi il Chilì, partendo dal 30° di latitudine sud. Quelle provincie non sarebbero che lembi di deserti inabitabili, se i torrenti, nutriti dalle nevi perpetue delle Ande, non vi mantenessero un vasto sistema di naturale irrigazione; mentre la fredda corrente marina, che vi giunge dalle regioni antartiche, vi rinfresca il clima così che si troverebbero difficilmente altrove più felici paesi.

97. Seguendo verso sud la stessa costa del Pacifico, lungo la quale si spiega il lembo di terra che, unico forse, può dirsi esente da pioggie, passato il 30° di latitudine meridionale, ci troviamo d'un tratto in una

regione forse la più piovosa del globo. Questa regione comincia col Chili meridionale e si prolunga colla Patagonia occidentale fino all'estremità meridionale dell'America, dove il fenomeno è quanto si può dire spiccato. Questa regione è quasi inesplorata: quanto si sa di certo però è che trattasi di un paese di eterne pioggie. Un rapporto di Barrow, citato da Kaemtz [1], descrive la Patagonia occidentale come formata da un gran numero di isole, coperte da impenetrabili foreste. Le pioggie vi sono continue, la terra non vi si prosciuga mai. Altri viaggiatori (e questi alludono meglio al continente) la dipingono come una terra coperta di boschi, percorsa da fiumi e cascate, coronata di montagne coperte di eterne nevi, soggetta a pioggie perpetue. Le pioggie vi cadono così torrenziali, dice Maury, lungo quelle coste, che si può attingere l'acqua dolce che galleggia sull'acqua salsa del mare: e Silke calcolò che dall'aprile all'ottobre vi erano caduti $15^m,37$ di acqua pluviale. Il capitano King ne misurò ben 13 piedi ($4^m,222$) in 41 giorni [2]. Queste condizioni climatologiche, per quanto straordinarie, non sono che una conseguenza necessaria della forma e della posizione geografica di quella estremità del continente americano, in rapporto col sistema della circolazione atmosferica. Quella regione sorge isolata fra i due più vasti mari. Il sistema dei venti, come abbiamo già rimarcato (§ 57), deve mantenervisi distintamente regolare. La Patagonia deve dunque rimanere costantemente, o quasi, sotto il dominio del vento extratropicale nord-ovest, che ne percuote il lato occidentale. E che cosa è questo vento extra-tropicale nord-ovest? Non altro, nel sistema per noi adottato, che l'alizeo nord-est, il quale, dopo aver spirato in lungo e in largo sull'immenso Oceano Pacifico, e avervi bevuta tutta quella quantità d'acqua, di cui è capace, giunge, senza perdite, all'equatore. Là si alza: cammina senza ostacolo come contro-alizeo nord-ovest: disceso poi, sempre senza ostacolo, oltre le calme del Capricorno, e divenuto vento extratropicale nord-ovest, urta per la prima volta contro una catena di montagne, e questa elevatissima, che perfettamente lo incrocia sul suo passaggio. È un'immensa lamina di ghiaccio che riceve immediatamente lo sbuffo di una immensa caldaja a vapore... La Patagonia occidentale deve essere, come lo è in fatti, la regione più piovosa del globo.

98. In quali condizioni sarà dunque la Patagonia orientale? È facile prevederlo. La Patagonia orientale, è, per rapporto ai venti extra-tropicali, quello che il Perù per rapporto agli alizei. Sarà dunque una terra senza

---

[1] *Cours de météorologie*, pag. 188.

[2] Nella traduzione di Maury, a pag. 155, abbiamo invece 153 pollici, ritenuti erroneamente pari a 6 metri, mentre non sarebbero che $4^m,141$.

pioggie. Ecco in fatti le notizie che ho potuto raccogliere intorno a quelle inospiti contrade. Chi lascia le pompose regioni del Rio della Plata, il cui bacino è ancora irrorato dalle pioggie tropicali, per venire a Carmen, che è all'ingresso della Patagonia orientale, deve rimanere colpito dalla sterilità di un paese, sparso di laghi salati, indizî certi di africana siccità. Carmen sorge in mezzo a un vero deserto. Continuando verso il capo Sant'Elena (45° lat. sud), il paese appare ovunque d'una sterilità spaventevole: non v'ha quasi traccia di vegetazione, nè indizio di viventi. Il silenzio non v'è interrotto che dalle strida degli uccelli marini, e dal muggito delle onde. Così si continua per circa 1000 miglia, dal capo Sant'Elena, fino al capo delle Vergini, cioè all'imboccatura dello stretto di Magellano. Entrando nello stretto, aperto ai venti occidentali, l'aspetto del paese si muta interamente, e al deserto asciutto della Patagonia orientale subentrano le foreste cresciute sotto le perpetue pioggie della Patagonia occidentale.

99. La *carta* alla fig. 7 che ho copiato da Maury, mostra come al vento nord-ovest, in cui si trasforma l'alizeo nord-est nell'emisfero australe, e porta le pioggie alla Patagonia, corrisponda, nell'emisfero boreale, il vento sud-ovest, non altro in origine che l'alizeo sud-est, il quale, i vapori bevuti esuberantemente sulla immensa superficie meridionale del Pacifico, riversa in pioggie sulla vasta superficie del Nord-America, che comprende uno dei più grandi bacini idrografici del globo: il bacino del Mississipi. Ma se vogliamo a nord un'altra regione di grandi pioggie, che corrisponda precisamente alla Patagonia occidentale, la troveremo nella costa americana, tra il 40° e il 55° di latitudine nord, che corrisponde precisamente alla Patagonia, sotto la stessa latitudine a sud, e comprende le regioni dell'Oregon, che figurano sulle carte udometriche di Berghaus, ecc. fra le regioni più piovose del globo. Giusta le osservazioni di Atkinson, nella città di Oregon la quantità di acqua piovutavi nel solo gennajo 1851 fu di pollici 13,65 (circa 37 centimetri), un terzo di più di quella che piove a Washington, sull'opposto versante americano, in un anno.

100. Senza perderci in altre particolarità, riteniamo come evidentemente dimostrata dal fatto la verità della circolazione atmosferica secondo il sistema di Maury. Il regime climatologico delle diverse regioni dell'America, non è che una realizzazione di questo sistema. Per noi naturalmente rimarrebbero dimostrati non solo i tratti della circolazione atmosferica che riguardano ciascun emisfero, ma anche i rapporti tra i due emisferi, stabiliti dall'incrociamento sull'equatore. Dobbiamo concedere tuttavia che altri potrebbe spiegare le pioggie della Patagonia e del Mississipi anche prescindendo dall'incrociamento equatoriale, ammettendo cioè semplicemente

che l'aria calda e umida, levandosi sull' eqnatore, si riversi in eguale misura verso i due poli, senz'altro bisogno di incrociarsi. Sentiamo quindi il bisogno di produrre delle prove ancora più positive, per ciò che rignarda qnesto punto cardinale della teorica di Maury o, dirò meglio, secondo il mio avviso, questo punto fondamentale della economia tellurica, in tntte le epoche del gloho.

101. Se le correnti dei due emisferi si incrociano sull'eqnatore, si incrociano anche i vapori disciolti in ciascuna corrente: si incrociano dnnque, in potenza, le pioggie; sicchè quelle che cadono nell'emisfero boreale vengono dall'emisfero australe, e viceversa. Che ciò debba avvenire è una necessità che si può stabilire *a priori*, almeno per coloro, per cni le grandi leggi della natura si elevano all'altezza di altrettanti principî, da cui si cavano consegnenze legittime e necessarie. La legge, per cni in natura tntto è coordinato come mezzo al fine, riluce anche nei più piccoli fenomeni. Il naturalista sa che ogni fatto in natura ha un perchè; e questo perchè è sempre un altro fatto, a cui si vuol giungere, per la via più breve, col minor possibile dispendio di forze. È la gran *legge del minimo mezzo*, che presiede all'impianto economico dell'universo, legge che non permette nè il minimo difetto di ciò che è necessario, nè il minimo superfluo in ciò che è sufficiente. Negato il fatto dell' incrociamento sull' eqnatore delle correnti atmosferiche, dovremo confessare una colossale infrazione di quelle leggi fondamentali in ciò che vi ha di più fondamentale nella economia del globo, cioè nella distribuzione dell'umidità, primario elemento della vita fisica e organica.

102. I mari sono creati per l'irrigazione dei continenti. Non è uno scopo unico, ma certamente primario. Siccome i mari giaciono alla base dei continenti, ci voleva una macchina idraulica che levasse l'acqua al di sopra di questi, e li irrigasse. Questa macchina, l'abbiam visto, è l'atmosfera: ma questa macchina dev'essere congegnata in guisa che possa recare l'acqua dei mari sui continenti, e i mari e i continenti devono essere distribuiti a seconda del congegno della macchina, in quei rapporti cioè in cui in una macchina a vapore si trovano le caldaje e i condensatori. Vediamo ora qnale è di fatto la disposizione delle caldaje e dei condensatori in questo grande opificio idraulico, che è la terra. Cosa singolare e che deve sorprendere chichessia a prima giunta! I continenti, che devono essere irrigati, sono aggruppati, pigiati entro l'emisfero boreale: i mari, che devono irrigarli, distendono invece i loro specchi immensi nell'emisfero australe. È vero che alcune considerevoli lingue di terra si allungano a sud dell'equatore, come qualche grosso braccio di mare si distende a nord di esso: starà sempre però nella sua pienezza il fatto, che dove c'è molta terra da irrigare, c'è

poca acqua da attingere; dove invece la terra è si scarsa, c'è acqua per irrigare a vendetta. Che strano sistema di economia! Dove massimo è il consumo, minimo è il prodotto: dove è massimo il prodotto, minimo è il consumo. Senza i venti, dice Kaemtz, le pioggie sarebbero sconosciute nell'interno de'continenti, che diverrebbero aridi deserti. Ma che è altro l'emisfero nord, in confronto dell'emisfero sud, se non un gran continente in confronto di un gran mare? Strano davvero, ripeto: il condensatore trovasi in un emisfero, la caldaja nell'altro!

Ogni stranezza scompare però, quando si conosca il congegno di quella gran macchina idraulica, la quale, mediante lo scambio delle correnti aeree sull'equatore, attinge le acque dai mari australi, per irrigare i continenti boreali, i vapori cioè delle caldaje a sud porta a concentrarsi sui condensatori a nord.

103. Per ridurre all'evidenza matematica ciò che risulta già evidentissimo fisicamente, non ci sarebbe che da calcolare la quantità delle pioggie che cade in ciascun emisfero, e vedere a quale dei supposti rispondano le cifre. I supposti possibili che serviranno di base al calcolo, sono tre: 1.° o le correnti non si scambiano; e in ciascun emisfero cadrà una quantità di pioggia proporzionata alla superficie evaporante in ciascun emisfero, quindi piccola pel boreale, grandissima per l'australe; 2.° o le correnti atmosferiche non fanno che mescolarsi sull'equatore, riversandosi poi in parte uguali verso i due poli, e la quantità di pioggia sarà uguale in ciascun emisfero; 3.° o esiste l'incrociamento, e accadrà esattamente il contrario del primo supposto: la quantità di pioggie nell'emisfero australe sarà proporzionata alla superficie evaporante dell'emisfero boreale, o viceversa. A quale dei tre supposti rispondono le cifre?

Il calcolo fu appena iniziato: le cifre sono incomplete, incerte; ma pure rispondono già eloquentemente in favore del terzo supposto, escludendo gli altri due. Gli studî udometrici comparativi di Johnston non comprendono che le zone temperate: sono tuttavia, il ripeto, molto concludenti.

104. La superficie evaporante a sud dell'equatore è di 75 milioni di miglia quadrate, e di 25 milioni la superficie evaporante a nord: questa rappresenta dunque $^1/_4$, e quella i $^3/_4$ della superficie evaporante del globo. Prendendo per unità di misura la cifra annua delle pioggie, che si verifica nell'emisfero boreale, il più povero di mari, e che è di 94 centimetri, dovremmo avere pur 94 centimetri nell'emisfero australe, nel supposto della miscela delle arie sull'equatore, e 2^m, 82, cioè il triplo, nel supposto che ciascun emisfero sia irrigato dalle proprie acque. I calcoli di Johnston ci dicono invece che nell'emisfero australe non cadono annualmente che 66 centimetri d'acqua. Il risultato è veramente imponente. La quantità di

pioggia, che cade nell'emisfero sud, non è nemmeno $^1/_4$ di quella che dovrebbe cadervi, se i vapori dei due emisferi non si scambiassero punto, e quasi $^1/_3$ meno di quello che si avrebbe, ammessa la completa miscela. Il fatto adunque depone splendidamente in favore dell'incrociamento. È l'acqua di sud che si porta a nord e viceversa. Stabilendo infatti un calcolo proporzionale tra la quantità delle pioggie e la superficie evaporante di ciascun emisfero, noi troviamo invertite le cifre, salvo una differenza di 26 centimetri in più o in meno; ci risulta cioè questa apparente stranezza, che la quantità delle pioggie è in ragione inversa della superficie evaporante. Infatti, prendendo il totale delle pioggie che cadono nei due emisferi = 1m,60, dovremmo avere, in proporzione della superficie evaporante di ciascun emisfero, 40 centimetri per l'emisfero nord, e 120 centimetri per l'emisfero sud: invece abbiamo, come dissi, 94 centimetri nell'emisfero nord, e 66 nell'emisfero sud, cioè le cifre invertite, salvo l'accennata differenza, in più o in meno, di 26 centimetri.

105. Per rendere, per dir così, visibile il fenomeno dello scambio delle pioggie fra i due emisferi, lo esprimo nel seguente specchio, dove, pigliando per base del calcolo i rapporti tra la superficie evaporante di ciascun emisfero, e la quantità totale di pioggia che cade nelle zone temperate = 160 centimetri, vediamo le cifre delle *quantità ipotetiche*, esprimenti le pioggie che cadrebbero in ciascun emisfero, quando si bagnasse delle proprie acque, invertirsi, per esprimere le quantità reali, aggiungendo a ciascuna quantità reale la differenza, in favore della teorica dello scambio perfetto.

Superficie evaporante.	Quantità ipotetiche.	Quantità reali.
Emisfero nord: 25 mila miglia q.	40 cent.	94 + 26 = 120 centim.
Emisfero sud: 75 "	120 "	66 − 26 = 40 "

106. Per quanto la differenza tra le quantità reali e le quantità ipotetiche, quelle cioè che si dovrebbero ottenere nel supposto dello scambio tra i due emisferi, sia considerevole, i risultati parvero tuttavia a Maury sorprendenti e decisivi. E lo sono difatti; ma lo saranno più ancora, quando nel calcolo si tenga conto di una circostanza, che non fu, credo, avvertita da Maury, e che basta a modificare talmente i risultati del calcolo che ogni differenza in sfavore scompare, e si verifica invece una differenza in favore del nostro modo di vedere.

107. La quantità di pioggia che cade sopra una data area, si esprime in centimetri, i quali mi danno lo spessore dello strato d'acqua che si formerebbe sopra quella stessa area, quando tutta potesse arrestarvisi. Così si stabilisce il rapporto udometrico tra le diverse aree, prescindendo dalla loro

estensione. Una regione sarà detta più piovosa di un'altra, pel solo motivo che sulla prima lo strato d'acqua acquisterebbe uno spessore più considerevole che sulla seconda, qualunque sia l'estensione delle due regioni poste in confronto. Quì, ognuno lo vede, non si tien calcolo della quantità reale di pioggia, che cade sulle diverse regioni, la quale quantità si ottiene moltiplicando lo spessore dello strato d'acqua per l'estensione dell'area ricoperta. Nel confronto che noi vogliamo istituire tra le condizioni udometriche dei due emisferi, non ci preme tanto di sapere se un emisfero sia più piovoso dell'altro, prescindendo dal valore delle aree, quanto di conoscere la quantità reale di pioggia che cade in ciascun emisfero. Per giungere a ciò dobbiamo tener conto dell'estensione delle aree. Ma i due emisferi non presentano essi due aree di estensione perfettamente uguale? Punto, se si considerano in rapporto col fenomeno delle pioggie.

108. È troppo diverso, nel grande meccanismo della irrigazione del globo, l'ufficio cui fungono le aree dei due emisferi, secondo che sono marine o continentali, servendo le prime come caldaje, le seconde come condensatori. Le pioggie sono, quasi letteralmente, fenomeno continentale. Le regioni degli alizei, cioè le regioni equatoriali, sono ad un tempo le più serene e le più piovose del globo. Ma il sereno si perpetua sui mari, la pioggia sui continenti. Sono i continenti, e più specialmente le grandi catene, che smungono i venti; i mari invece quelli che li impinguano di vapori. Se le pioggie sono fenomeno continentale, la loro quantità nei due emisferi va calcolata sulla estensione delle aree continentali in ciascun emisfero. Vedete che ne risulta?

109. Le terre a sud dell'equatore rappresentano ora $^1/_4$ della superficie asciutta del globo, e le terre a nord i $^3/_4$. Invece di stabilire la quantità di pioggia che cade sulle aree asciutte dei due emisferi, moltiplicando lo spessore dello strato acqueo per l'estensione di esse aree, possiamo stabilire ugualmente i rapporti di quantità, considerando come uguali d'estensione le terre dei due emisferi, e triplicando di conseguenza il valore dello strato acqueo sulle terre boreali, che verrebbero ridotte a $^1/_3$ della loro reale estensione. Così operando avremo, in base alle cifre già stabilite da Johnston, l'altezza dello strato annuale di pioggia in ciascun emisfero stabilito come segue:

Emisfero sud, centimetri 66 $= 0^m, 66$
Emisfero nord, " $94 \times 3 = 2^m, 82$.

Si vede dunque come le quantità reali delle pioggie cadenti in ciascun emisfero, sempre in base ai calcoli di Johnston, siano, direbbesi, eccessiva-

mente in favore del supposto dello scambio dei vapori tra i due emisferi. In questo supposto infatti, equiparata l'estensione delle aree, lo spessore dello strato di pioggia che copre annualmente le terre boreali, dovrebbe essere il triplo dello spessore di quello che copre le terre australi. Dovrebbe dunque essere di $0^m,66 \times 3 = 1,98$; ed è in vece di $2^m,82$.

110. Sarebbe il caso di ripetere l'adagio: *chi prova troppo prova niente.* Ma invece, avuto riguardo alla estrema povertà degli elementi introdotti nel calcolo, la quale dà ragioni più che sufficienti delle discrepanze che ne risultano tra il reale e il teorico, e ritenuto verificarsi ad ogni modo un eccesso veramente enorme di pioggia nell'emisfero boreale in confronto coll' australe, è il caso di ritenere che difficilmente si trova una tesi più splendidamente dimostrata di questa, che ammette lo scambio dei vapori, quindi delle correnti atmosferiche tra i due emisferi.

111. Ciò che risulta dal calcolo appare del resto all'occhio di ciascuno, appena si getti uno sguardo su d' un planisfero. La più mediocre fra le carte idrografiche ci svela questo gran fatto, che i più grandi fiumi scorrono nell'emisfero settentrionale. L'Australia e l'Africa meridionale non vantano nessuno di quei grandi corpi d'acqua, che irrigano a centinaja i continenti boreali. I fiumi possono dirsi quasi sconosciuti nelle isole del Sud. La stessa America meridionale non conta altro fiume considerevole che il Rio della Plata, poichè il Rio delle Amazzoni, che apre le sue foci sull'equatore, va già debitore all'emisfero boreale di una gran parte delle sue acque. Mi si dirà forse: come volete che esistano nell'emisfero australe tanti fiumi come nel boreale, se così impari è l'estensione dei continenti? Ma ad ogni modo vi dev'essere una proporzione. Paragonate terra con terra, estensione con estensione, latitudine con latitudine, l'Australia coll'Europa, l'Africa e l'America meridionale coll'Africa e coll'America Settentrionale, troverete sempre a sud delle terre povere di acqua, a nord delle terre esuberantemente irrigate.

112. Mi ha sempre fatto specie quanto si legge circa le condizioni idrografiche dell'Australia o Nuova Olanda. Questa isola immensa, che meritamente viene considerata come un continente, è, fra tutte le terre del globo, quella che, a primo aspetto, è posta nelle condizioni più propizie di una abbondante irrigazione. Isolatissima in mezzo al Grande Oceano, è una vera terra marina: distesa quasi interamente sotto la zona torrida, figurerebbe come il più gran condensatore della più vasta caldaja. Tutti i venti che vi spirano devono essere venti di pioggia, perchè tutti spirano dal mare; gli alizei sud-est soffiano sulle sue coste orientali, e le calme del Capricorno la attraversano in tutta la sua lunghezza. Con tutto ciò l'Australia figura quasi un deserto. Tutti i viaggiatori sono d'accordo nel di-

pingerla come arida e senza fiumi. Si esagerò forse troppo, mentre fiumi vi scorrono, alcuni anche navigabili, i quali però non reggono in confronto, non dirò dei fiumi dell'America, ma nommeno di quelli d'Europa. Si scopriranno forse altri fiumi in quella terra ancora ignota per sì gran parte, ma ci rimarrà pur sempre un continente distinto per la sua siccità. Nella Nuova Galles del Sud, la regione più conosciuta, e forse la migliore di quel continente, le siccità più desolanti durano i sei e i sette mesi continui. È vero che tali siccità sono rotte talvolta da varî diluvî, sicchè i fiumi rigurgitano, e gli aridi piani si convertono in laghi. Cho importa? La media delle pioggie annuali a Paramatta è calcolata di circa 60 centimetri, quantità uguale a quella che cade in Iscozia. La meraviglia cresce osservando como le regioni intertropicali dell'Australia sono così destituite di fiumi, mentre altrove le terre equatoriali, specialmente quelle a nord dell'equatore, come le Antille, la Guiana, l'Indostan, sono le grandi regioni delle pioggie. Si opporrà forse che l'Australia è terra bassa, e come tale non può agire che come condensatore di mediocre potenza. Anche qui c'è della esagerazione. Se l'Australia non vanta le cime delle Ande o dell'Himalaya, forse nemmeno quelle delle Alpi, è tuttavia montuosa quanto basta per esercitare l'ufficio di potente condensatore. Le Montagne bleues si levano fin oltre i 1300 metri; la catena del Warragong, o delle Alpi-australi, o Montagne bianche, è coperta, dicesi, di nevi perpetue; e per esserlo, deve spingersi a ben considerevoli altezze in tali latitudini. Le Montagne nere, visibili a 30 leghe dalle coste, devono levarsi almeno verso i 2000 metri. Si esagerino del resto quanto si vuole le condizioni sfavorevoli per l'irrigazione dell'Australia, e le favorevoli per l'irrigazione delle regioni tropicali a nord dell'equatore, ci colpirà sempre di meraviglia un continente così asciutto in mezzo al più grande oceano. Ma la meraviglia cessa quando si ammetta lo scambio de' vapori tra i due emisferi, quando si conceda che l'Australia aspetta le sue pioggie dall'emisfero australe, così povero di mari, che solo possono dargliene tributo.

113. Come si spiega allora che la Patagonia, terra australe come la Nuova Olanda, figuri forse, a quanto fu detto più sopra, come la terra più irrigua del globo? Ecco un'obiezione la quale si risolve nella prova forse più luminosa, più convincente di quante sonosi portate fin qui. Perchè, dimando anch'io, perchè sono così diverse le condizioni della Patagonia da quelle dell'Australia? Perchè il confronto si trovi più conveniente ne'suoi termini, si paragoni in genere quella parte dell'America meridionale che riesce oltre il 30° di latitudine sud, e comprende le regioni piovose del Chilì, la piovosissima Patagonia occidentale e il gran bacino del Rio della Plata, con quella porzione dell'Australia che pure oltrepassa il 30° di latitudine sud.

Perchè abbiamo, relativamente parlando, là una regione di pioggie eccessive, qui una regione di siccità? La cosa sarebbe veramente inesplicabile quando le due regioni ricevessero le loro pioggie dai mari australi. Noi vediamo in fatti come lo due regioni si trovino in condizioni perfettamente uguali: disteso sulla stessa zona, esposte agli stessi venti, l'una o l'altra isolate in mezzo alla vastità dell'Oceano. Perchè sono adunque, ripeto, l'una una regiono di pioggie, l'altra di siccità?

114. Proviamoci invece a considerare le stesse due regioni, nei loro rapporti coll'emisfero boreale, o specialmente con quei mari, dai quali ciascuna deve attendere le pioggie, secondo il nostro sistema. Ne risultano, quanto alle condizioni udometriche, condizioni assolutamente opposte per le duo regioni in confronto. La figura 6 ci ha già dimostrato quali sieno queste condizioni per l'America del Sud, oltre il 30° di latitudine: essa è esposta al soffio perenne del vento extra-tropicale nord-ovest, in cui s'è convertito l'alizeo nord-est, dopo essere passato sull'immenso Pacifico, saturandosi a tutto agio dei vapori che si sviluppano da quella sconfinata caldaja, che è il più gran mare dell'emisfero nord. La Patagonia è il principale, diremo l'unico, condensatore nell'emisfero australe della maggiore caldaja dell'emisfero boreale.

115. Osserviamo ora, in base agli stessi principî, da chi debba l'Australia aspettarsi le pioggie. Secondo il sistema, l'Australia meridionale cade essa pure sotto il vento extra-tropicale nord-ovest, in cui si trasforma l'alizeo nord-est. Ma qui l'alizeo nord-est, in vece di passare sul libero mare, si distende dapprima sul continente asiatico, si esaurisce sulle grandi catene dell'Indostan e della China e dell'Arcipelago indiano, e non gli resta che un tratto relativamente breve di Oceano indiano prima di levarsi sotto le calme dell'equatore. Così l'Australia figura come un gran condensatore di una piccola caldaja. Riassumendo, la diversità delle condizioni udometriche, che risulta dal confronto tra le regioni temperate dell'America meridionale e dell'Australia meridionale, depongono splendidamente in favore della teoria dello scambio delle correnti atmosferiche tra i due emisferi, emessa da Maury.

116. Ancora un argomento valevolissimo in favore dell'incrociamento equatoriale. Nell'emisfero nord piove assai più d'inverno che d'estate: lo attesta Maury. Se il fatto non si verifica esattamente in Europa, nel regno delle eccezioni, dove piove quasi ugualmente in ogni stagione[1], è splendi-

[1] Dedotta la media dalle tavole udometriche di Kaemtz, che comprendono l'Inghilterra, la Francia, la Germania, la Russia, la Svizzera, l'Italia, e diviso in 5 parti il totale delle pioggie annuali in Europa, ad ogni stagione ne tocca $^1/_5$. Il quinto che rimane si divide in porzioni d'uguali tra le quattro stagioni, con un po' di vantaggio per la primavera, e con vantaggio ancor più deciso per l'autunno, che risulta quindi la stagione più piovosa per l'Europa.

damente sancito per le regioni corrispondenti del nord d'America, cioè per i paesi occidentali, esposti, come l'Europa, normalmente al vento sud-ovest. Nell'Oregon piove tutti i mesi come in Europa, ma cinque volte più nell'inverno che nell'estate. Se le pioggie di un emisfero sono attinte ai mari dello stesso emisfero, come mai la quantità ne diminuisce nell' estate, quando maggiore è l'evaporazione, e cresce nell' inverno, quando l'evaporazione si scema? Ammesso lo scambio, la cosa è spiegata. L' inverno dei continenti a nord è l' estate dei mari a sud. Crescerà il prodotto dei condensatori, quanto più cresce il fuoco alla caldaja [1].

117. Questa teoria non va presa così strettamente alla lettera, quasi si volesse sostenere che ogni stilla d'acqua che piove sull'emisfero nord, sia attinta all'emisfero sud, e viceversa. Ogni volta che una corrente inferiore incontra un rilievo sensibile, questo dà luogo a una concentrazione di vapori. Gli alizei, per esempio, mentre passano sulla rispettiva zona di mare, imbevendosi di vapori, se incontrano sulla propria via una catena, un'isola elevata, dovranno lasciarvi una porzione dei loro vapori, che cadranno entro i limiti di quell' istesso emisfero, in cui furono attinti. I mussoni, di cui parleremo or tosto, agiranno al modo stesso, e troveranno anche stabilito, per mezzo delle brezze di terra e di mare, un sistema di circoli parziali, con cui si provvede parzialmente alla irrigazione di molte terre, senza uscire dai limiti angusti dell' ambiente proprio a ciascuna. Anzi nel gran sistema della irrigazione universale, figurano, secondo Maury, come caldaje di soccorso, certe masse di acque nell'interno dei continenti, p. es. il Mediterraneo, il mar Caspio nell'emisfero boreale. Vedendo infatti come le regioni circumpolari hanno quasi una cintura di mediterranei e di laghi, si direbbe che son essi veramente caldaje di soccorso, destinate a provvedere di nuovi vapori i venti extra-tropicali, già emunti dai grandi rilievi delle regioni più meridionali del nuovo come dell' antico continente [2].

---

[1] MAURY, *Géographie de la mer*, § 189.

[2] La cintura dei bacini succursali a cui si allude, si compone principalmente, per l'antico continente, del Mediterraneo, del Mar Nero, del Mar di Azof, del Mar Caspio, del Mar di Azal e del lago Baykal, con moltissimi altri laghi asiatici. Si aggiungano que' magnifici canali di derivazione dall'Oceano Indiano, che sono il Mar Rosso e il Golfo Persico. Pel nuovo continente abbiamo la gran zona dei laghi Ontario, Eriè, Huron, Mikigam, Superiore, Nipissingi, Winipeg, Altabascka, degli Schiavi, di Bären, e cento altri che ben possono, per la loro estensione complessiva, rappresentare il Mediterraneo. Maury rischiara il suo concetto con un caso pratico, molto meritevole di venir preso in considerazione. Gli alizei sud-est che, trasformati in venti extra-tropicali sud-ovest, dovrebbero portare le pioggie alle regioni che cingono il Mediterraneo a nord e ad est, dopo essersi impregnati di vapori sul sud-Atlantico, si gettano sul grosso dell'America meridionale, e alimentano il grande bacino delle Amazzoni. Quando discendono oltre il Cancro, come venti extra-tropicali, si trovano impoveriti di vapori, ai limiti dell'antico continente, che sono deputati a irrigare. È qui dove il Mediterra-

Quei vapori si codensano certamente nell'emisfero stesso in cui sono concepiti. Noi dunque abbiamo considerato il meccanismo della circolazione atmosferica, non già nelle minuzio dei singoli ordegni, ma nella grandiosità generale del suo impianto. Il tratto più grandioso e fondamentale di un tale impianto consiste appunto nello scambio delle correnti atmosferiche fra i due emisferi, per cui i mari distesi a sud, irrigano i continenti condensati a nord.

---

neo fungerebbe da caldaja di soccorso. Una linea condotta, dice Maury, dallo isole Gallapagos fino a Firenze, e un'altra dallo foci dolle Amazzoni nd Aleppo in Terra Santa, limitano la via di quei venti, oltrepassato il Cancro. Quella zona sotto vento dev'essere, nel sistema, una zona di siccità. Entro questa zona esistono difatti, secondo gli studi di Johnston, i paesi più ascintti d'Europa, e lo sarebbero più ancora se il Mediterraneo non rifornisse i venti di vapori. Tutto il Mediterraneo, l'Italia centrale e meridionale, la Grecia, la Siria, la Palestina non sarebbero che una continnazione dei deserti africani. I vapori che sopravanzano a quelle regioni temperate, e quasi subtorride, sono poi godnti dalla Siberia. La descritta zona è anche la zona delle pioggie più regolari di polvere rossa, proveniente dal sud-America, comprendendo le isolo del Capo Verde o la Sicilia. Più a nord di questa zona stanno regioni piovose, le grandi regioni di Europa, Francio, Italia settentrionale, Alpi, Germania, ecc. Secondo il sistema gli alizei sud-est, destinati a giugervi come extra-tropicali sud-ovest, attraversate lo regioni tropicali a mezzodì del bacino delle Amazzoni, o ripassando oltre l'equatore, sopra l'America ceotralo, discesi oltre il Cancro, forse con una certa dose di vapori bevuti el Pacifico, hanno un discreto tratto dell'Atlantico, dovo possono abbeverarsi come venti extra-tropicali inferiori, prima di toccare l'Europa. Forse la scienza riescirà un giorno a dimostrare cbo l'acqua cho piovo normalmente sulle Alpi, è una mistura dell'acqna del sud-Pacifico, con quella del nord-Atlantico. Ma la scienza è ancor troppo bambina, per perigliarsi troppo nel campo de' particolari, sopratutto per ciò che riguarda la meteorologia delle regioni circummediterranee, così eccezionale, come vedremo. Tra le caldaje di soccorso Maury novera il Mar Rosso e il Golfo Persico, veri canali di derivaziono delle acque dell'Oceano Indiano. Il Mar Rosso, per esempio, diviso per mezzo dal Cancro, resta per la metà a sud sotto gli alizei nord-est, che vi attingono le acque che alimentano il Nilo, o per l'altra metà a nord sotto gli extra-tropicali sud-ovest, che ne portano le acque allo sorgenti del Tigri

---

CAPITOLO IV.

PARZIALI DEVIAZIONI NEL SISTEMA DELLA CIRCOLAZIONE ATMOSFERICA DERIVANTI DALLA DISPOSIZIONE ATTUALE DEI MARI E DELLE TERRE. AZIONE FISICA E MECCANICA DEI VENTI.

118. Il sistema dei movimenti atmosferici, dalla teorica di Maury ridotto a quella unità che, abbracciando l'universalità dei fatti, può essere considerato come l'ideale a cui tendono la meteorologia e tutte le scienze, non è però praticamente così semplice, come sarebbe di fatto, se gli agenti contemplati rimanessero liberi e soli nell'esercizio della loro azione. Bisognerebbe perciò almeno supporre, come abbiam detto, che la superficie della terra fosse ovunque perfettamente uguale, fosse, p. es., interamente coperta dalle acque, in guisa che il calorico, primario agente nel sistema delle correnti atmosferiche, fosse distribuito soltanto a seconda delle latitudini. Ciascuno invece comprende facilmente come la ripartizione della superficie del globo in mari e continenti, come la forma orografica dei continenti stessi, come infine i mille accidenti che influiscono sulla ineguale distribuzione del calorico, debbano agire come forze perturbatrici del gran sistema; e se non possono per intiero distruggerlo, devono però parzialmente modificarlo. Affrettiamoci a dire che, se gli studi, sui quali si fonda la teorica di Maury, fossero stati fatti nell'interno dei continenti, piuttosto che negli aperti campi degli oceani, non si possederebbe ancora nemmeno in germe il concetto della circolazione atmosferica. È diffatti nei continenti, e per effetto dei continenti, e anche dei mari interni, che ha luogo quella variabilità continua dei movimenti atmosferici, di cui noi, posti tra due mari interni, e al piede della più grande catena dell'Europa, siamo di continuo testimonî. Tali variazioni però si possono ridurre a tre ordini di fatti, relativamente assai limitati, nessuno dei quali contraddice al sistema, considerato nella sua universalità. O sono parziali deviazioni delle correnti primarie, che non ne alterano punto il corso, come non altererebbe il corso del Po un canale laterale, per cui si deviasse una certa porzione delle sue acque; o sono circoli limitati in limitati ambienti, che del pari non alterano il corso delle correnti primarie, come non influiscono sul corso del Po i piccoli vortici,

che si aggirano in seno alle sue acqne piane e maestose; o sono locali squilibrî, prodotti evidentemente dagli squilibrî della elettricità statica, che nel sistema dello correnti atmosferiche non portano maggiore alterazione di quella che recherebbe, per continnare il paragone colla corrente del Po, nn sasso slanciato con violenza in seno alle sue acque. Tutte queste variazioni debbono naturalmente portare delle modificazioni corrispondenti nei climi delle diverse regioni, cioè nella distribuzione della temperatura e della nmidità. Le pioggie devono rispondere a ciò che il sistema ha di vario e di mutabile, come risposero a ciò che ha di uniforme e di costante.

119. La ragione principale, che può portare una deviazione nelle correnti atmosferiche, è fornita da qnelle superfici continentali, le quali sono in condizioni di riscaldarsi prontamente e di irradiare potentemente. Succederà parzialmente su queste superfici ciò che avviene universalmente sull'equatore. Una corrente di aria ascendente richiamerà l'aria da tutte le direzioni all'ingiro, obbligando le correnti a deviare, come quando a un fiume si apre un canale laterale. I mussoni [1] sono il fenomeno il più importante del primo ordine. Sono chiamati con questo nome certi venti periodici che durano da 5 a 6 mesi, alternando in direzione opposta. Si fanno sentire snlle coste dei paesi soggetti ad nn temporaneo eccessivo riscaldamento, qnindi, per esempio, sulle coste dell'Africa, dell'Asia, del Messico, ecc. Nella teorica di Maury, i mussoni non sono altro che i venti alizei, deviati da una causa prevalente, la quale consiste precisamente nell'elevarsi dell'aria sopra la snperficie del suolo riscaldato, producendo per conseguenza un afflusso temporaneo dell'aria circostante, al modo stesso che un afflusso costante determina sull'eqnatore i venti alizei. Un tale afflusso durerà finchè dnra la causa; finchè dura cioè in quella data latitudine la stagione estiva, ossia un eccesso di riscaldamento. In qnel punto la causa parziale prevale alla generale, e qnalunque corrente atmosferica è deviata, per correre a riempire il vuoto lasciato dalla colonna d'aria ascendente. Cessando la causa, col succedere della stagione invernale, le correnti ripigliano il corso loro imposto dal sistema generale della circolazione atmosferica.

120. Prendiamo ad esempio i mussoni che si fanno sentire così forti nell'Oceano indiano, e consideriamo come atti a dar moto, per eccesso di riscaldamento, ad una poderosa corrente ascendente i deserti interni dell'Asia e

---

[1] Preferisco alla parola *monsoni*, osata nelle mie *Note*, qnella di *mussoni*, come più fedele alla radice, che è secondo alcuni *moussim*, parola malese che significa stagione, secondo altri *mausim*, che ha lo stesso significato in arabo.

specialmente il deserto di Cobi. Qnelle regioni sono sotto i venti alizoi nord-est; ma quando il sole passa a nord dell'equatore, i desertl dell'Asia si riscaldano a poco a poco, finchè la loro azione parziale prevale, entro una certa sfera, all'azione generale. I limiti di tale azione sono a qualche migliaja di miglia dalle coste. Una grande colonna d'aria si leva turbinosa dal grembo del deserto; un immenso vuoto si forma, e i venti alizei nord-est sono arrestati nella loro corsa verso l'equatore, e travolti in quel vortice. Gli alizei sud-est, arrivati alle calme dell'equatore, non trovano più nessun contrasto nei venti nord-est; sentono invece l'azione della colonna ascendente, e volgonsi essi pure impetuosamente a riempire qnel vuoto, e soffiano così sulle coste indiane, divenuti mussoni di snd-ovest, dominanti appnnto su qnelle coste nei mesi d'estate. Mano mano che si avvicina l'inverno, la causa perturbatrice si indebolisce, poi cessa intieramente. Ecco allora l mnssoni di nord-est, dominanti nell'inverno, non altro che i venti alizel di nord-est, rimessi sulla loro via. La stessa spiegazione si applichi letteralmente ai mussoni dell'Atlantico, che spirano così forti snlle coste occidentali dell'Africa, da rendere assai pericolosa la navigazione tra le isole del Capo-Verde e le coste del continente[1].

121. Naturalmente alla modificazione che subisce il sistema della circolazione atmosferica sotto l'infinenza de' grandi bracieri che generano i mussoni, devono corrispondere modificazioni esattamente eqnivalenti nel sistema della irrigazione del globo. Se si rovesciano le correnti atmosferiche, si cambiano naturalmente i versanti dei grandi rilievi che agiscono come condensatori. Siccome il sistema dei mussoni dipende dal rovesciamento degli alizei, i qnali divengono venti snd-ovest nell'emisfero boreale (pel solo fatto della attnale nbicazione dei grandi bracieri dell'Africa e dell'Asia), se i versanti orientali ricevono le pioggie nella stagione degli alizei, le ri-

[1] Marié Davy riconosce come cousa primaria dei mussoni il semplice trasporto del solo sull'eclittica. attribnendo ai contioenti nn'azinno secondaria. Per lni i mnssoni snd-est cho soffiano sulle coste dell'India, e in genere dei continenti equatoriali a nord dell'equatore, durante l'estate, non sono eho gli alizei sud-est, i quali, oltrepassando la *linea* in quello stagione, subiscono una inflessiooo vorso est, per effetto della rotazione terrestre. Una inflessiono dobbono subirla certamento gli alizei sud-est, qnando oltrepassano l'equatore verso nord. Ma come mol in così brevo viaggio, entro l'angusta zona che resta durante l'estote tra l'equatore o io calme equatoriali, come mai, dico, l'inflessiooe può essere tale da trasformaro nn veoto sud-est in veoto snd-ovest! Ammessa anche una tale inflessione, perchè i mussoni soffierebbero poi eon quella violenza, che spesso li caratterizza? Sopra tutto osservo cho i mussooi sono vonti eostieri, nè sono guari sensibili che a poca distanza dalle terre. Chi parlò mai di mussoni nel libero Oceano? Notisi che lo stesso Marié Davy proclama altamente lo regolarità degli alizei, e che nella sua tavoia IX vedonsi bensl gii alizei snd-est, dnrante l'estate, infletteral alqnanto; ma le frecce non si scostano daila direzinoe sud-est che per avvicinarsi alqnaoto alla direzione sud-sud-est, ben lootana dol ragginngere la direzione sud-ovest.

ceveranno i versanti occidentali nella stagione dei mussoni. Tale alternanza delle pioggie sugli opposti versanti nelle regioni dei mussoni costituisce uno dei tratti più caratteristici della loro geografia fisica.

122. La regione ove il fenomeno dei mussoni è più spiccato è l'India. Secondo le carte di Maury, l'azione degl'interni deserti dell'Asia è tale, che si spinge fino a sud dell'equatore; sicchè tanto gli alizei nord-est, come gli alizei sud-est (tutta infine la parte inferiore dell'atmosfera che cinge il gran continente), sono attratti verso l'interno di esso, determinando un gran sistema di mussoni sud-ovest, che regnano durante l'estate, partendo dalle coste meridionali dell'Arabia fino alle coste meridionali della China. L'Indostan cade precisamente nel centro di questo grande sistema, avendo dietro a sè quell'immenso braciere dei deserti di Tartaria e del gran deserto di Cobi, che è il principale motore dei mussoni estivi. L'alternare dei mussoni nord-est, o alizei nord-est, coi mussoni sud-ovest vi porta l'alternare delle due stagioni di siccità e di pioggia. Se gli alizei nord-est vi spirassero costanti, come nell'America equatoriale, l'Indostan sarebbe nelle condizioni di essa America; avrebbe cioè le regioni est sempre irrigate, come il bacino delle Amazzoni, e le regioni ovest sempre asciutte, come il Perù. Sappiamo invece che il Malabar, cioè le coste occidentali dell'Indostan fino al Capo Comorin, è irrigato a profluvio, durante i mussoni di ponente, mentre il Coromandel, ossia le coste orientali, lo è durante i mussoni di levante. Tra l'una e l'altra regione sorge la gran catena de' Gati, che funziona come condensatore col versante opposto al vento della stagione. Il mussone di levante, ossia l'alizeo nord-est, durante l'inverno, attinge i vapori al mare di Bengala, e se ne scarica contro i Gati, diluviando sul Coromandel. Il Malabar gode intanto d'imperturbato sereno. Ma col venire dell'estate, l'alizeo rovesciato diventa mussone sud-ovest, che beve nell'Oceano Indiano, e urtando contro l'opposto versante dei Gati, diluvia sul Malabar. Il Ceylan traduce a piccola scala lo stesso sistema. L'alta catena, che lo percorre da sud a nord, opponendosi ora ai venti di est, ora a quelli di ovest, alterna sui due versanti il sereno e le pioggie.

123. Le Filippine, anch'esse entro la zona degli alizei, allineate da sud a nord, irte di montagne altissime, formano ugualmente barriera ai mussoni alternanti. Anche su quelle isole pertanto si alternano sui due versanti la siccità e le pioggie. Dal giugno al settembre il mussone di ponente leva dei mari furiosi, e le pioggie diluviano, sui versanti occidentali, talora quindici giorni senza interruzione. Mentre su questi le campagne si convertono in laghi, i versanti orientali si disseccano al sole. Ma dall'ottobre al maggio il mussone d'oriente porta le pioggie sui versanti orientali, e sugli occidentali il sereno. Lo stesso fenomeno si presenta a Giava.

124. L'Africa meridionale, nominatamente le regioni del Capo di Buona Speranza, si trovano entro i dominî degli alisei sud-est. Lo scilocco, ossia il vento di sud-est, vi domina infatti per circa quattro mesi dell'inverno nostro, cioè durante l'estate australe. Durante l'estate boreale, l'alizeo sud-est si trasforma, secondo le carte di Maury, in mussone sud-ovest. Sappiamo infatti che, durante il vento sud-est, la città del Capo, sulla costa occidentale, gode di un sereno inalterato, e il vento vi spira secco e freddo. Soltanto sull' alto delle montagne, che la proteggono a occidente, formanti una grande regione montuosa che costituisce l' interno paese, e si distende fin sulle coste orientali, si vede sospesa una lunga nube, quasi immobile cortina, che solo talvolta viola per poco i confini delle regioni occidentali. Quella cortina non è che il lembo occidentale di una gran massa di nubi densa e grave, distesa sulle regioni orientali, nominatamente sulla Cafreria, che si mantiene piovosa finchè dura lo scilocco. Qui si vede chiaramente come l'alizeo sud-est, che deriva dal polo antartico, dopo aver bevuto le acque dell'Oceano australe, si getta sulle montagne della Cafreria, come vento umido e piovoso, per passare quindi, come vento secco e sereno sulla città del Capo, e sulle regioni occidentali. L'inverso naturalmente deve aver luogo, quando spira il mussone sud-ovest.

125. Il Madagascar, come il Ceylan, è uno specchio del regime del rispettivo continente. Quest' isola, parallela alle coste orientali dell'Africa, diretta da sud-ovest a nord-est, percorsa per il lungo da una catena altissima, è un vero diaframma disteso contro i venti di sud-est. Nella stagione in cui essi dominano, i versanti orientali dell'isola sono inondati, e la gran catena, vista dal mare orientale, figura come una gran fascia nera, coperta di nubi stagnanti da cui la pioggia continua si riversa[1].

126. Al secondo ordine, cioè ai circoli parziali in limitati ambienti, sono da riferirsi le brezze di terra e di mare. Avrete visto come, accendendo il camino in una stanza, dove l'ombra listata da un raggio di sole rende visibile il polverio che si agita per l' aria, esso polverio sia come da un vortice trascinato verso la fiamma. La superficie del mare, che lentamente si riscalda e lentamente irradia, e la superficie della terra che si riscalda prestamente, e prestamente si raffredda, tengono alternatamente le veci del camino. Segnatamente nell' estiva stagione, sulle coste spira ogni giorno un vento diurno dal mare, e un vento notturno da terra. Il fenomeno fu coi colori più brillanti dipinto da Jansen, che dimorò a lungo

[1] Gli esempi citati del regime udometrico nelle regioni dei mussoni sono presi dal *Corso di geografia* (vol. III) del Marmocchi, che li raccolse dagli scritti di Gentil, della Caille, D'Après.

tempo sulle coste di Giava. Quando il sole si alza in mezzo ad un'atmosfera di bianchi vapori, il vento, che spirava da terra, cessa a poco a poco e subentra la calma più soffocante. Verso mezzo giorno il mare si agita, e il vento spira verso terra colla violenza della tempesta. Si acquieta col tramonto, e subentra una nuova calma; ma, coll'avanzarsi della notte, il mare si agita di nuovo, mosso da una brezza che soffia da terra, la quale darà luogo a nuova calma col ritorno del nuovo sole. È chiaro che le coste, sotto la sferza dei tropici, infocandosi di giorno, determinano una corrente ascendente, che deve attirare la brezza dal mare, il quale si riscalda in proporzione assai minore: durante la notte la terra si raffredda rapidamente e la dilatazione dell' aria, quindi la colonna ascendente, si determina preferibilmente sul mare e vi attira la brezza di terra. Analoghi alle brezze di terra e di mare sono i venti a periodo diurno che si alternano sui nostri bacini lacustri, quando il tempo è regolare, ossia bello, come si dice volgarmente, quando cioè cessano quelle cause perturbatrici, il cui periodo, abbastanza determinato anche nelle nostre regioni alpine, accenna ad un legame tra le variazioni meteorologiche e il sistema generale della circolazione atmosferica. Per mio avviso, tra le regioni subalpine e l'Adriatico, esistono quegli stessi rapporti, che tra le coste di Giava e l'Oceano indiano: quindi un vento diurno di sud, o brezza di mare, che noi lombardi chiamiamo *breva*, e un vento notturno da nord, cioè brezza di terra, che chiamiamo *tivano*. La breva e il tivano cominciano e cessano ad ora diversa, secondo le diverse stagioni, a seconda cioè che più celere o più lento è il riscaldamento prodotto dal sole. La *breva* si leva presto d'estate, tardi d' inverno. Circoli ancor più limitati, appartenenti allo stesso ordine di fenomeni, possono pure verificarsi sui nostri laghi. I notturni *montivi* non sono che brezze di terra, le quali nel più caldo estate sbucano da ciascuna valle laterale ai nostri laghi; rimutandosi così l'aria entro piccoli ambienti per quella stessa ragione, che si rimuta l' immensa atmosfera dall' uno all' altro emisfero.

127. I cicloni, i tifoni, le tempeste, gli uragani, sinonimi esprimenti, a quanto pare, lo stesso fenomeno, costituiscono un'altra eccezione, o direbbesi un perturbamento affatto temporaneo, nel sistema della circolazione atmosferica. Le tempeste che talora si levano così violente sulle coste delle Indie orientali, erano dette tifoni: nell'Atlantico si dicevano semplicemente tempeste, uragani, colpi di vento. Il nome di *ciclone* fu introdotto da Piddington, e dovrà ritenersi dalla scienza, come nome generale, che esprime le tempeste, le quali si presentano nei diversi mari sotto la stessa forma. Essa forma si traduce per bene nel nome *ciclone*, dal greco κύκλος, che significa *circolo*. Hanno infatti la forma di un gran cilindro d' aria, che

ruota sul proprio asse verticale. Nell'emisfero nord la rotazione è da dritta a sinistra, cioè da est a ovest, passando per nord. Nell'emisfero sud è l'opposto: il ciclone ruota da sinistra a destra, cioè da est a ovest, passando per sud, come lo mostrano la figura.

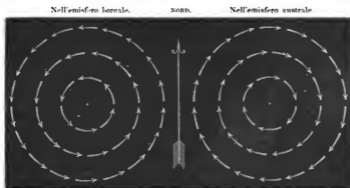



Fig. 8. Rotazione dei cicloni.

128. Il ciclone accoppia, come i pianeti, al moto di rotazione un moto di traslazione, camminando, per tratti talora enormi, certe vie abbastanza determinate nei diversi mari. Dico nei diversi mari, perchè il ciclone è fenomeno marino, ristretto ai diversi grandi bacini in cui è diviso l'Oceano, benchè talvolta si spinga nell'interno dei continenti. Nel nord-Atlantico, p. es., pare che i cicloni nascano invariabilmente presso l'equatore, tra l'Africa e l'America. Si dirigono dapprima verso ovest, ripiegandosi tosto verso nord-ovest, torcendosi infine bruscamente verso nord-est. La figura 9, ormai riprodotta in tutte le opere di meteorologia, rappresenta un ciclone ntlantico dell'agosto 1848, delineato da Porter sui dati raccolti dall'osservatorio di Washington [1]. Essa può servire di modello per tutte le tempeste dell'Atlantico.

129. I cicloni cominciano a modo delle *trombe*, con un diametro, relativamente piccolo, di 250 a 400 chilometri: mano mano che progrediscono si allargano, fino ad avere un diametro di 1500 a 2000 chilometri. La violenza

[1] Il disegno è qui però eseguito in modo da esprimere graficamente la spirale del ciclone, risultante dal doppio moto di rotazione e di traslazione, e il progressivo allargarsi del circolo della meteora, mano mano che dalle regioni equinoziali si porta verso le regioni settentrionali d'America, e, ripiegandosi bruscamente, guadagna l'Europa, dopo avere attraversato l'Atlantico sopra una linea da sud-ovest a nord-est, disegnando precisamente la via della grande corrente marina, detta *corrente del golfo*.

va però diminuendo in ragione che la meteora progredisce e si allarga. Il massimo della velocità non si verifica sulla periferia, dove il moto di quel turbine aereo dev'essere eliso dall'attrito contro l'atmosfera, entro la quale il turbine ruota come un corpo a sè, perfettamcte libero: si verifica invece

Fig. 9. Ciclone dell'agosto 1848 nell'Atlantico.

in un punto medio tra la periferia e il centro. Nel centro stesso il movimento è a zero, quindi perfetta calma. La velocità della rotazione è fin di 200, e anche 250 chilometri all'ora. Il moto di traslazione non è che di 15 a 45 chilometri all'ora, sicchè i cicloni dell'Atlantico impiegano talora una decina di giorni nella loro traversata dall'America in Europa. È incalcolabile la forza meccanica di questi enormi cilindri d'aria, d'un diametro così imponente, che ruotano con spaventosa velocità, percorrendo, talvolta, tutto un emisfero. La storia della navigazione ricorda difatti con terrore i disastri prodotti da tali cicloni, che hanno veramente del prodigioso. Essi ci danno anche un'idea più adequata della poderosa azione meccanica dell'atmosfera.

130. Si ricorda una tempesta che, infuriando sulle coste dell'India, a Balasore, tra Madras e Calcutta, spinse le onde sì dentro terra, che il mare vi si levò all'altezza di 4 a 5 metri, sopra una estensione di 24 miriametri quadrati, coll'eccidio di 10,000 persone. I resti di un bastimento si rac-

colsero a 14 chilometri dal lido entro terra. Tali catastrofi, atte a cambiare in breve ora la faccia di una regione, sembrano tutt'altro che infrequenti in quelle regioni, esposte all' impeto mostruoso dei cicloni. Nel 1864 quelle coste ne furono infestate due volte, coll' intervallo di pochi giorni. Il primo ciclone infierì a Calcutta nel mese di ottobre; il secondo desolò il Masulipatam il primo novembre [1]. Il padre Tagliabue, missionario milanese alle Indie, che scampò prodigiosamente dall' eccidio, scrisse una descrizione di quell' uragano a Masulipatam troppo atta a darci un' idea terribile di quelle meteore.

Il pendio di quelle coste è così dolce, che l' elevazione di qualche metro dal mare basta ad internarlo parecchi chilometri. Effetto dei venti è appunto l' elevazione del livello delle acque, successivamente accumulate e quasi sospese da quella parte verso la quale il vento spira; e tale elevazione, essendo proporzionale alla violenza del vento, può servir di misura della violenza stessa.

131. Il ciclone incominciò a soffiare alle 4 pomeridiane, accompagnato da pioggia dirotta; crebbe col venir della sera, e durante la notte il mare traboccava in guisa sulla costa, che al Fort, località a un miglio e mezzo dal lido, l' acqua si alzò 21 piedi nella chiesa, posta in luogo alquanto elevato. Il mare si avanzava colla violenza di un torrente, e tutto era rovina. Solo alle due del mattino cominciò il vento a cedere, e l' acqua per conseguenza a decrescere. Per quattro giorni successivi durò tuttavia il rigurgito, in guisa che le communicazioni tra il Fort e Masulipatam rimasero interrotte, e il missionario non vi potè arrivare che il quarto giorno, camminando coll'acqua fino al petto. Il mare si era internato 20 miglia, ma il vento estese assai più le sue rovine. Gli alberi sradicati, accatastati, le case quasi tutte distrutte. Si contavano nel Fort più di 3000 vittime, e 15,000 nella città di Masulipatam, oltre quelle che dovevano essere disperse nella campagna.

132. Un altro caso forse più meraviglioso di rigurgito marino si narra accaduto nel golfo del Messico. Il vento, infuriando a ritroso della grande corrente che esce dal golfo, e di cui ci occuperemo più tardi, produsse una contro-corrente. Il golfo ebbe un rialzo di 30 piedi, sicchè il bastimento *Lesbury-Snou*, riuscito a ripararsi, trovossi ancorato tra gli alberi di una foresta.

133. Nel 1816 un uragano, che per 24 ore infuriò ad Antigoa nelle Antille, infisso nelle sabbie il bastimento *Gadburg;* si trovarono botti internate un

[1] Tanta vicinanza di date mi induce a sospettare che si trattasse dello stesso ciclone, che giungesse prima a Calcutta, poi a Masulipatam. Tra la prima località e la seconda ci corrono circa 500 miglia.

quarto di lega, ed una barca portata entro una foresta. Un altro ciclone, che alle Barbude nel 1780 costò la vita a 40,000 persone, disperse i cannoni dei forti; due bastimenti furono sfracellati in pieno mare, e i corpi delle vittime venivano fatti a brani dalla sola forza del vento. Famoso è pur quello che desolò la Guadalupa nel 1825. Le case erano rase al suolo; le tegole, a guisa di projettili, trapassavano le spesse tavole delle porte; una trave passò da parte a parte un tronco di palma del diametro di mezzo metro, altre si infissero 3 metri nel suolo, e furono spostati i cannoni da 24 [1].

134. Quale è la causa che attira sui mari così spaventose procelle? Essa è ignota [2]: si conoscono però alcune circostanze, che mettono già la scienza in via di scoprirla.

Si osserva anzi tutto, che i cicloni si verificano nei diversi mari nell'epoca dei maggiori squilibrî atmosferici, cioè quando le correnti regolari si turbano e si rovesciano; in fine nell' epoca dei cambiamenti dei mussoni. È appunto in quest' epoca che si verificano i celebri tifoni nei mari della China. Nella stessa epoca, dice Maury, avvengono gli uragani dell'isola Maurizio, i cicloni dell'Oceano Indiano, e quelli delle Indie occidentali nell'Atlantico. I mesi d'agosto e di settembre sono i più favorevoli a tali conflitti di venti. In quei due mesi il mussone sud-ovest dell' Africa e il mussone sud-est delle Indie occidentali sono al massimo della loro intensità. In quest'epoca, dice Jansen, citato da Maury, tutti i mari dell' emisfero boreale sono nella stagione degli uragani, mentre nell'Oceano indiano sud essi avvengono nell' altra stagione, quando soffia il mussone nord-ovest nell'Arcipelago Indiano orientale. È tanto vero che i cicloni sono in immediato rapporto, che direbbesi di effetto alla causa, coi grandi

---

[1] Analoghi ai cicloni sono quei vortici poderosi, conosciuti sotto il nome di trombe di terra o trombe di aria, e di tifoni o trombe di acqua, secondo che entro terra piuttosto che in mare si manifestano. Kaemtz le vuole prodotte semplicemente dall'incontro di due correnti aeree, al modo stesso con cui han luogo i così detti *mulinelli*, quando spira il vento in luoghi chiusi all' ingiro, o i vortici d' acqua, dove le correnti si incontrano in diverse direzioni, p. es., a valle delle pile dei ponti. Io ne ritengo tale l' origine, benchè altri vogliano ripeterle da squilibri elettrici, per cui abbia luogo l'attrazione mutua della elettricità di diverso nome, secondo che ascende da terra, o discende dalle nubi. Io penso che le *trombe* non siano che cicloni in piccolo, tempeste giranti, determinate dall' urto di correnti parziali, come i cicloni lo sono dall' urto delle grandi correnti atmosferiche. Dei cicloni hanno la forma e la potenza meccanica enorme. Una tromba, che devastò pochi anni or sono il parco di Monza, contorse e sfibrò, a guisa di umile sterpo, tronchi che vantavano almeno 0m, 50 di diametro. Nel trattato di fisica di Pouillet troverete interessanti descrizioni di tali meteore.

[2] Marié Davy, la cui opera è specialmente diretta a fissare le leggi delle tempeste giranti, ossia dei cicloni dell'Atlantico, in rapporto colle tempeste d'Europa, affine di dedurre certi principî pratici per la predizione del tempo, quand'è a cercare la causa di quelle tempeste, ci manda in pace, dicendoci: « Nous remettons à d'autres temps la recherche de leur origine, et des causes qui les engendrent. » (*Météorologie*, pag. 396).

squilibrî prodotti dai mussoni, cioè coi rovesciamenti delle correnti atmosferiche normali; ciò è tanto vero, dico, che (è sempre Jansen che lo attesta) nel mare Pacifico del sud e nell'Atlantico del sud, ove non si verificano i mussoni, non v' ha nemmen un caso di ciclone.

135. Se i mussoni pajono originare i cicloni, la direzione di questi, cioè il loro cammino, sembra determinato dalle correnti marine. Questo è un fatto, a quanto pare, ineccepibile pei cicloni del nord Atlantico: sta a vedere se si verifica ugualmente per gli altri mari. Noi tratteremo più tardi delle correnti marine, e vedremo come la superficie del mare possa dirsi ripartita in un certo numero di grandi fiumi, i quali, come le correnti atmosferiche, o scorrono dall'equatore ai poli, come correnti calde, o ritornano dai poli all'equatore, come correnti fredde. Or bene, dice Maury, gli uragani hanno tutti i loro piedi nelle acque calde, e sorgono da per tutto ove esistono calde correnti. Conosceremo sopratutto più innanzi la celeberrima *corrente del golfo*, la gran corrente calda del nord Atlantico, che dalle regioni equatoriali conduce i tepidi lavacri alle ghiacciate regioni del polo. Se volete intanto conoscere l' andamento di questa grande corrente, non avete che a ritornare collo sguardo sulla figura 9. La tempesta dell'agosto 1848 può dirsi seguì con tutta precisione l' andamento della corrente del golfo. Ora è un fatto che i cicloni del nord Atlantico seguono tutti approssimativamente le tracce della descritta tempesta, seguono cioè tutti la direzione della grande corrente; per cui, nascendo nell'Atlantico presso l'equatore, percorse il mare delle Antille, percorse le isole e le coste degli Stati Uniti, attraversano l'Atlantico da sud-ovest a nord-est, e, se non si sciolgono per via, si gettano sull'Europa. Per ciò la corrente del golfo fu dai marinai chiamata il *padre*, o il *re delle tempeste*. Pare non esservi dubbio in ciò, che lo squilibrio della temperatura, determinato da una corrente calda, sotto una latitudine normalmente fredda, sia la causa dei rapporti accennati tra i cicloni e le correnti marine. In fatti, mentre nei mesi di agosto e settembre infuriano a preferenza i cicloni nella regione equatoriale, è raro, dice Maury, che i colpi di vento si facciano sentire nell'Atlantico, a nord della regione delle calme del Cancro, dal giugno al settembre. L'inverno invece è la stagione delle tempeste a nord del Cancro, ove un calore equatoriale è portato dalla corrente del golfo tra i massimi rigori del settentrione.

136. Visto il sistema generale della circolazione atmosferica, e riconosciuto come le deviazioni si conciliano con esso sistema, e, per dir così, vi rientrino, formandone una parte integrante, potrà far specie il vedere, come in Europa, nè la comune esperienza, nè la scienza dei meteorologisti attesti nel regime de' venti un qualche cosa che si assomigli al sistema

generale, sopratutto che si accordi colla semplicità di esso sistema. Ma abbiamo detto abbastanza, sopratutto dove parlammo delle polveri meteoriche, per disporre gli animi a considerare il regimo meteorologico dell'Europa, nominatamente delle regioni sul Mediterraneo, come un qualche cosa di eccezionale, che però non smentisce la legge generale della circolazione atmosferica. Le terre in genere agiscono come perturbatori del sistema atmosferico: per rapporto a questo sistema bisogna cercare la regola nei liberi mari, mentre i continenti ci danno piuttosto l'eccezione. O si riscaldino, determinando delle correnti ascendenti, o si raffreddino, producendo il condensamento dei vapori, o si rizzino anche semplicemente come barriera contro i venti, o si incidano, per dar passaggio in un punto o in un altro, in una o in altra direziono, ai venti; sempre e poi sempro le terre agiscono come perturbatori. Se poi vi ha terra la quale, per tutte le ragioni fisiche e meccaniche insieme, deve essere il regno delle eccezioni, questa deve essere l'Europa. Un continente irregolare, irto di catene in tutto le direzioni, a costo tutte frastagliate: a nord di esso i ghiacci eterni del polo; a sud il più gran braciere del globo. Le sue coste sono bagnate a nord dall'Oceano, a sud dal Mediterraneo, il più vasto di tutti i bacini interclusi: a ovest ha il libero Atlantico; a est l'Asia, ossia il maggior rilievo del globo. Chi non vede quante cause permanenti di perturbazioni in tutte le stagioni? I navigatori del Mediterraneo antichi e moderni, in luogo di progredire verso la semplificazione del sistema dei venti, che normalmente dovrebbero ridursi a due soltanto, anzi a uno, come è il caso dello imperturbato regioni degli alizei, costrussero la rosa dei venti, che di otto, quali si distinguevano in origine, divennero sedici, o di sedici trentadue. Non entrano nel cómpito nostro i particolari della meteorologia europea. La dinamica terrestre tende a mettere in luce le grandi leggi della natura, per considerarle in tutti i possibili rapporti colla costituzione del globo in tutte le epoche. Noi aggiungeremo dunque, a quanto abbiam detto sulla meteorologia d'Europa, solo quel tanto che basti per dimostrare: 1.° che la meteorologia d'Europa, per quanto eccezionale, si concilia col generale sistema della circolazione atmosferica, o ne lascia intravedere ancora i tratti più fondamentali; 2.° che la meteorologia di Europa è eccezionale appunto per le sue condizioni eccezionali, considerate in rapporto col sistema normale della circolazione atmosferica.

137. Nelle regioni del Mediterraneo le quattro stagioni sono ben decise. Le differenze però, che si rimarcano nelle diverse stagioni, principalmente nelle due che dovrebbero essere equivalenti, cioè nella primavera e nell'autunno, mostrano come non è la sola ragione astronomica che le determini. Nella grande regione, per esempio, che dipende dai versanti meri-

dionali delle Alpi, la volgare esperienza ci fa conoscere due stagioni di pioggia, o piuttosto due epoche piovose: l'una in primavera, l'altra in autunno. Le pioggie ci vengono coi venti di sud-ovest o di ovest. Queste pioggie primaverili e autunnali durano più o meno, ci vengono più presto o più tardi, sicchè un anno non si assomiglia a un altro sotto questo rapporto: tuttavia noi possiamo sempre scommettere il cento contro uno, che tra il marzo e l'aprile, tra il settembre e l'ottobre avremo delle pioggie abbondanti, capaci di durare, principalmente nell'autunno, i quindici e i venti giorni senza interruzione. Più normalmente è l'ottobre il mese piovoso dell'autunno, e l'aprile quello di primavera. Parecchi dei nostri proverbî lombardi traducono in sentenza questo fatto, e anche l'altro che le due epoche di pioggie sono seguite ciascuna da un'epoca di sereno imperturbato. Dopo le pioggie primaverili infatti si spiegano i sereni, e talora le disastrose siccità dell'estate, stagione nella quale le pioggie si attendono, più che da altro, dai temporali pomeridiani, conseguenza dei venti locali diurni, i quali entrano evidentemente nel sistema delle brezze di terra e di mare. Dopo le pioggie ottobrine corre una stagione di sereno, la quale bisogna bene che si ripeta assai distintamente ogni anno, se meritò di venir distinta col nome poetico e lusinghiero di estate di San Martino. Questa estate invernale corre tra il novembre e il dicembre.

138. Osserviamo come, nelle due epoche ordinariamente piovose da noi, il sole, quindi le calme equatoriali, si trovino precisamente su quelle regioni dalle quali, secondo i migliori indizî, ci vengono i venti in via normale: parlo delle regioni dell'America equatoriale. Si verificano dunque in quel tempo per noi le condizioni più favorevoli per la formazione delle pioggie, cadendo noi immediatamente sotto la più umida corrente atmosferica. Essa corrente poi va meno soggetta in quelle epoche a essere deviata, principalmente per riguardo al massimo perturbatore, che è il Sahara. Se nell'autunno infatti va diminuendo l'influenza del gran deserto, che si sottrae gradatamente al raggio diretto del sole, in primavera tale influenza non è ancora decisa. Col cedere delle ragioni perturbatrici, prevale la ragione generale, e hanno modo di affermarsi anche da noi quei venti regolari, che dalle regioni equinoziali dell'America ci portano i caldi e le pioggie. Ma coll'avanzarsi del sole verso il Cancro il Sahara, infuocandosi, inspira l'aria dalle circostanti regioni. L'Europa deve allora rimanere soggetta di preferenza ai venti nordici, venti di sereno: nel che trovano ragione gli splendori caratteristici della nostra estate. Quanto all'*estate di San Martino*, che tien dietro alle pioggie autunnali, la ragione non ne è così palese. Bisognerà probabilmente cercarla o nel continente americano, d'onde ci vengono i venti, o più probabilmente nei rilievi dell'Africa occidentale, i quali

dovrebbero frapporsi fra noi e i venti sud-ovest, quando il sole marcia verso il Capricorno.

139. Alcune specialità, che riguardano la direzione dei venti nelle nostre regioni, concordano anch'esse col sistema generale della circolazione atmosferica, ammesso però sempre come primario e perenne perturbatore il grande braciere africano. Dall'opera di Kaemtz, e dalle note appostevi da Ch. Martin, risulta che i venti predominanti nel Mediterraneo sono quelli di nord. In inverno soffiano più dirottamente da nord e in estate da nord-est. La traversata da Tolone a Algeri, a tempo normale, riesce sempre più breve di quella da Algeri a Tolone. Per un bastimento a vela c'è la differenza di un quarto. Se i venti di nord sono prevalenti nel Mediterraneo, gli stessi venti si fanno costanti al Cairo, ad Alessandria e nel nord dell'Africa. Nell' opera citata si dice in termini assoluti (non so poi fino a che punto debba ritenersi come assoluto il fatto) che in quelle regioni non spirano che venti di nord. Trattandosi del Mediterraneo, e meglio ancora delle regioni che, per dir così, costituiscono l'orlo del grande braciere, i fatti accennati si spiegano naturalmente da sè. Il Sahara, in confronto delle regioni che lo circondano specialmente dal lato di settentrione, deve esercitare un' azione perturbatrice *perenne*, come l'abbiam già chiamata. Per quanto variino le stagioni, il gran deserto, disteso sotto il tropico, figura sempre come una regione calda, in confronto d'una regione fredda. Se la sua azione è massima nell'estate, non è però nulla nell'inverno: soltanto sarà più ristretta la sua sfera d'azione, e tale azione si manifesterà, mantenendo costanti, o almeno prevalenti, i venti di nord nelle regioni immediatamente limitrofe, e nel Mediterraneo. Si può dire che tra il Mediterraneo e il Sahara esistono permanentemente gli stessi rapporti che fra l'equatore e i poli. La deviazione, che subiscono le correnti normali, finisce, rimanendo costante la causa perturbatrice, a divenire anch' essa normale, o meglio a sostituirsi alla normale.

140. Se nelle regioni più immediatamente sottomesse all' influenza del Sahara arrischia l' eccezione di divenire la regola, dove essa influenza diminuisce la regola dovrebbe ristabilirsi. Nelle regioni più settentrionali e interne d' Europa non si trova affermata nemmeno la prevalenza dei venti di nord. In quella vece l'esperienza, del pari che la scienza, ci mostrano il fatto di una estrema variabilità nel regime meteorologico. I venti principalmente nelle regioni interne, variano incessantemente di giorno in giorno, d'ora in ora, di minuto in minuto. Le irregolarità orografiche, tante catene così varie d'altezza, di forma, di direzione, tante valli che fungono, per rapporto ai venti come per rapporto alle acque, l'ufficio di canali, sono le ragioni, già accennate con molte altre, per cui i continenti in genere o l'Eu-

ropa in ispecie devono andar soggetti a un regime meteorologico estremamente variabile. Abbiamo tuttavia delle terre, le quali, se da una parte si sottraggono bastantemente all'influenza del Sahara, dall'altra sono bastantemente libere da quelle influenze a cui vanno soggette le regioni continentali interne. Le terre verso l'Atlantico, specialmente le isole, devono trovarsi precisamente in queste condizioni, presentare quindi un regime più normale, che si regga meglio tra il sistema generale della circolazione atmosferica, e il parziale stabilito dagli agenti perturbatori. Sulle coste del Portogallo, p. es., si può già dire stabilito regolarmente il sistema dei mussoni. Nell'estate infatti dominano quasi esclusivamente i venti di nord. Sono i mussoni determinati dall'azione del Sahara, massime in quella stagione. Nell' inverno invece vi spirano i venti di sud. Sono i venti extratropicali normali. L' isola di Madera cade sotto la zona del vento extratropicale sud-ovest: ma i venti di sud non possono farsi sentire che durante l' inverno; mentre nell' estate spirano costantemente i venti di nord, cioè i mussoni, i quali non lasciano di prevalere anche d' inverno, stante la perenne influenza del Sahara col quale Madera si trova in rapporto così immediato.

141. I pochi particolari accennati ci danno ragione a conchiudere, che anche le regioni circummediterranee, col loro regime meteorologico così eccezionale, confermano, piuttosto che infirmare, la teorica della circolazione atmosferica per noi ammessa, stabilendo in pari tempo un gran fatto d'una suprema importanza per la geologia. Il gran fatto è questo, che il sistema della circolazione atmosferica, benchè determinato in prima analisi da cause estranee alla distribuzione, alla forma, ai rapporti diversi delle terre e dei mari, trova in questa distribuzione, in questa forma, in questi rapporti le condizioni della sua definitiva attuazione.

142. Il sistema della circolazione atmosferica si riassume nei seguenti fatti, in cui si traducono alcuni supremi principî della economia terrestre.

1.° I moti dell'atmosfera dipendono in prima causa dalla posizione della terra per rapporto al sole, ragione di permanente squilibrio dell'aria che si riscalda entro i tropici, e si raffredda nelle regioni extra-tropicali, e quindi di una vera circolazione atmosferica.

2.° In questo sistema di circolazione l'aria si rimuta dall'equatore ai poli, e dai poli all'equatore; dall'emisfero nord all'emisfero sud e viceversa; dall'emisfero occidentale all'emisfero orientale e viceversa; mediante un triplice sistema d'incrociamento nelle tre regioni delle calme, e un sistema di spirali, per cui l'aria si rimuta da un polo all'altro, girando il globo tanto nel senso dei meridiani, che nel senso dei paralleli, seguendo cioè le diagonali tra gli uni e gli altri.

3.° L'aria, circolando, si carica o di vapori o di calore radiante, secondo che passa sui mari o sui continenti.

4.° L'aria così distribuisce i vapori e il calore, cedendo gli uni e l'altro alle terre, secondo le leggi della fisica.

5.° In questo sistema i mari rappresentano le caldaje, tanto più attive, quanto sono collocate più presso l'equatore.

6.° I continenti rappresentano i condensatori, tanto più attivi, quanto più elevati sul livello del mare o vicini ai poli.

7.° I continenti però cessano dall'ufficio di condensatori, quando la loro temperatura è superiore al grado che si esige per la concentrazione dei vapori in seno all'aria, e divengono in vece sorgenti di calore radiante, tanto più abbondanti, quanto più vicini all'equatore.

8.° I continenti stessi, principalmente quando agiscono come superfici riscaldanti, influiscono sul sistema della circolazione atmosferica, deviando le correnti normali, e determinando un sistema parziale di distribuzione dell'umidità e del calore.

9.° Il clima attuale, tanto nella sua generalità, quanto nelle sue particolarità, è legato alla distribuzione, alla forma, ai rapporti che hanno attualmente le terre e i mari.

143. Ci si potrà forse rimproverare l'estensione che abbiamo accordato alla teorica della circolazione atmosferica, estensione che potrebbe ritenersi contraria alla economia del nostro piano, anzi incompatibile in un trattato qualunque di geologia. Non si è fatto invece che ubbidire ad un'esigenza scientifica di speciale attualità. Io sono d'avviso, che il più gran passo fatto in favore della geologia stratigrafica consiste nelle teoriche così splendidamente esposte da Maury, che concentrano in una sintesi meravigliosa gli studi di geografia fisica e di fisica terrestre su tanta estensione, in tanti anni e con tanta perseveranza condotti da accurati osservatori.

144. Dai fatti o, se vuolsi dai principî esposti, emana un fatto o principio d'ordine più riflesso, da cui risulta tutta l'importanza della teoria esposta, in rapporto alla geologia, ossia alla storia della terra. Il principio sarebbe questo: tutte le regioni del globo sono tra loro vicendevolmente condizionate per rapporto alla climatologia. Si potrebbe anche esprimerlo in quest'altro modo: ogni regione del globo trova le ragioni delle sue condizioni idrografiche e caloriche in altre regioni. Infatti abbiamo raccolto un numero sufficiente di fatti per poter asserire, che l'emisfero boreale dipende dall'australe; il vecchio continente dal nuovo; l'Europa dall'America meridionale. Si guardi però bene dall'isolare le diverse regioni nei loro mutui rapporti, ritornando invece sempre al principio generale per cui le

regioni del globo sono tra loro condizionate, ciascuna a tutte, e tutte a ciascuna.

145. È un grande sistema di solidarietà tra tutte le parti del globo, tra terre e terre, tra mari e mari, tra mari e terre, tra latitudini e latitudini, tra longitudini e longitudini. Variino d'un solo millimetro l'altezza d'una catena, o la vastità di un seno di mare; e la climatologia di tutte le regioni, quindi del globo intero, subisce una alterazione. Non può darsi mutamento alla superficie del pianeta, senza che ne consegua un mutamento climatologico. Nè tale mutamento potrà riguardare semplicemente ciò che vi ha di accidentale, come sarebbe la distribuzione delle linee isotermiche, o la ripartizione delle pioggie nelle diverse regioni; ma potrà anche avvenire per ciò che vi ha di sostanziale e precisamente per la quantità e potenza assoluta dei diversi fattori della climatologia tellurica. Possono infatti i mutamenti alla superficie del globo non arrestarsi soltanto alla distribuzione relativa delle terre e dei mari, ma accrescere o diminuire in via assoluta l'estensione di questi, l'estensione e l'altezza di quelle, con accrescimento o diminuzione della potenza radiante o evaporante, con accrescimento o diminuzione del calore o dell'umidità. Non è che, nel supposto, si crei o si distrugga nemmeno un atomo di quelle forze, che attualmente governano il globo. Quel tanto di calore irradiante, che venisse a mancare, p. es., colla scomparsa di una terra bassa sotto i tropici, troverebbe il suo perfetto equivalente in una quantità maggiore di vapori, che si sollevano dal mare a quella terra sostituito. Ma gli effetti nel primo caso sarebbero ben diversi che nei secondo; e senza che le forze agenti sul globo o crescessero o venissero meno, potrebbe il clima del globo intero alterarsi, divenire più caldo o più freddo, più secco o più umido. Perchè ciò si verifichi non si richiedono variazioni astronomiche: bastano le geologiche.

146. Badisi or bene alle conseguenze dei principî esposti. È un fatto, nè io mi darò la pena di dimostrarlo, che l'esistenza del doppio regno organico è legata anzitutto alle condizioni climatologiche delle diverse regioni, al *clima*, di cui principali fattori sono il calorico e l'umidità. La esistenza del duplice regno organico è dunque condizionata alla circolazione atmosferica. Si può dunque con pieno diritto asserire, che la circolazione atmosferica è, con tutte le modificazioni del suo piano generale, ordinata all'intrattenimento dei vegetali e degli animali, così diversi nelle diverse regioni del globo; come si può dire che gli animali ed i vegetali, così diversi nelle diverse regioni del globo, sono ordinati a vivere in quelle date condizioni che alle singole regioni sono imposte dal sistema della circolazione atmosferica. Si può anche dire finalmente, in conseguenza dei principî esposti, che l'esi-

stenza della flora e della fauna di una data regione è condizionata alla costituzione fisica di tutte le altre regioni del globo.

147. Il legame che, per un sistema ordinatissimo di mutua compensazione, rannoda necessariamente fra loro tutte le regioni della terra, condizionando in pari tempo i regni vegetale ed animale al regno della pura materia, è quello da cui risulta ciò che si chiama armonia, economia del globo. Ma quest'ordine del globo non è tale nè assolutamente nè necessariamente; ma lo è solo relativamente alla attuale costituzione dei regni della natura. Dipendendo da cause mutabili, potrebbe le mille volte mutarsi.

148. Diamo per ipotesi la scomparsa dell'America meridionale, a cui venisse sostituita una pari estensione di oceano. Si avrebbero ancora quelle correnti calde, che struggono le nevi delle Alpi e ne raddolciscono il clima? Non dovrebbero i venti alizei sud-est, in luogo di scaricarsi sulle Cordigliere, fornirsi di nuovi vapori attinti al nuovo mare e giungere in Europa, forse sulle stesse regioni alpine, e riversarvi l'enorme sopraccarico delle pioggie che alimentano il Rio delle Amazzoni, o delle nevi che rivestono la colossale catena dell'America del sud? Ma gli effetti di così enorme sbilancio non si farebbero sentire, nel supposto, soltanto in Europa; ma, per quella mutua dipendenza sancita per tutte e per le singole regioni, lo sbilancio affetterebbe l'ordine climatologico nella sua universalità; avrebbe luogo un universale squilibrio; finchè le forze della natura, che tendono ad equilibrarsi, si ricomponessero in un nuovo ordine. Ma badisi bene: le condizioni dei regni organici sono tali, che il nuovo ordine non potrebbe stabilirsi, se non previa una profonda modificazione, forse l'eccidio, di tutti i viventi. Non insisto nel dimostrare ciò, che a ciascuno deve apparire evidente.

149. Il concetto più grandioso, più sintetico, afferrato dalla moderna geologia, si è quello che la terra andò soggetta a continui mutamenti: la prima sintesi geologica, tentata da Cuvier, si intitolò: *Discorso sulle rivoluzioni del globo.* Tali *rivoluzioni* sono di due ordini, e costituiscono due serie parallele: oscillazioni della superficie del globo, e mutazioni de' suoi abitatori. Fu un continuo rimutarsi di continenti e di mari, e un continuo rimutarsi di flore e di faune, cioè di piante o d'animali. Vedete se, nel concetto della solidarietà stabilito dal sistema della circolazione atmosferica, non possa già prevedersi che si dovranno cercare, nelle *rivoluzioni* del primo ordine, le ragioni delle *rivoluzioni* del secondo....

150. Ci dovremmo ora intrattenere d'un altro effetto d'ordine fisico, conseguente all'evaporazione promossa dai venti, e quindi legato al sistema della circolazione atmosferica. Parlo della concentrazione delle acque, specialmente delle acque marine, da cui un aumento della loro densità, e conse-

guenti squilibrî idrostatici. È un fatto, che i mari presentano differenze sensibili nella loro salsedine; che nelle regioni dei venti alizei la salsedine è maggiore che nelle regioni artiche; che un eccesso di salsedine si verifica pei bacini ove, come nel Mar Rosso e nel Mediterraneo, la precipitazione dei vapori non basta a compensare l'evaporazione; che, per la stessa ragione, alcuni bacini interclusi, come il Mar Morto e molti laghi africani e asiatici, si convertono in vere saline. Ma avremo campo a misurare più tardi l'importanza geologica di questo fenomeno semplicissimo, parlando delle correnti marine, del sistema di animalizzazione dell'Oceano, ecc. Per ora basti sancire i fatti.

151. Oltre l'azione fisica, esercitano i venti una poderosa azione meccanica, che li rende pure assai meritevoli di considerazione come agenti modificatori del globo. L'azione meccanica dei venti può considerarsi specialmente sotto due aspetti: in quanto cioè si esercita sulla parte liquida del globo, sollevando le onde e dotando il mare di quella forza che ne fa il primario agente degradatore, e in quanto opera sulla parte solida, principalmente col trasporto delle materie incoerenti. Pigliandola sotto il primo aspetto, la poesia e la letteratura antiche e moderne sono troppo feconde di descrizioni atte a darci un'idea imponente del furore dei venti nel sollevare gli immani flutti del mare. Del resto, parlando de' cicloni, noi abbiamo già registrati tali fatti, i quali valgono meglio di qualunque teorica a farci apprezzare la potenza di sì formidabile agente.

152. Non è però dalla violenza eccezionale, con cui operano talora le forze del globo, che va dedotta l'importanza loro come di agenti modificatori. Più che la violenza vale la continuità dell'azione. Gli effetti lentamente accumulati pel corso di secoli, possono infine condurre a grandi risultati, assai maggiori di quelli che si ottengono da violenti, ma momentanei parossismi. Il polverio che si solleva ad ogni alito di vento, che nuota sospeso nell'atmosfera, che viaggia coi venti dall'uno all'altro emisfero, è un fenomeno quasi impercettibile; ma chi può misurare la quantità dei depositi che possono per questa via accumularsi qua o là sulla superficie della terra o sul fondo del mare? la lontananza a cui possono essere spinte le diverse sostanze pulverolenti? Quanta parte della storia della terra può, per questa sola ragione, rivelarsi al microscopio? I turbini di sabbia che seppelliscono le caravane nei deserti dell'Africa, i nembi di polvere che si sollevano nelle sterminate lande dell'America e nelle steppe della Russia, le ceneri dei vulcani che piovono a 1700 chilometri dalla bocca che le eruttò, come avvenne delle ceneri del Tomboro, i bastimenti aspersi di polvere africana a 1000 chilometri dalle coste, gli infusorî dell'America meridionale piovuti in seno alle Alpi, sono tutti fatti che rialzano il concetto della potenza geologica

dei venti. Maury ci attesta, che i venti esercitano una sensibile azione erosiva sulle rocce stesse più dure, narrandoci come i monti di roccia della Sierra Nevada si mostrino rosi e lisciati per l'effetto meccanico dei venti ovest, ecc., mediante le polveri di trasporto, che vi operano a mo' di smeriglio. Qualunque ciottolo dei deserti d'Egitto mostra del resto l'efficacia di tale azione. Le selci stesse, che tanto vi abbondano, sono lisciate, scanellate in modo meraviglioso dalla sabbia ruzzolata dal vento. Infine i venti, per una specie di facoltà elettiva facile a comprendersi, servono a distribuire le sostanze incoerenti, al modo stesso che si verifica per le acque delle correnti e del mare. Alcune parti dei deserti libici, coperti solo di ciottoli e di ghiaje, vuolsi si mostrino tali, perchè i venti hanno in altre parti trasportate e ammonticchiate le sabbie.

153. Per questa via noi vediamo, senza soccorso d'altro agente, creati o in via di crearsi, attualmente degli accumulamenti di sabbia così vasti e potenti, che ben meritano il nome di formazioni geologiche. Parlo delle *dune* o colline semoventisi.

154. Il vento agisce sopra una spiaggia sabbiosa o sui deserti in modo affatto analogo a quello per cui ondeggia il letto sabbioso d'una corrente o si formano i montoni sul fondo del mare. Diversa è la causa, simile l'effetto. Le dune hanno la forma appunto dei montoni o dei cordoni littorali. La loro sezione presenta un triangolo inequilatere sopra una base orizzontale. Il lato maggiore è opposto al vento dominante, e il suo pendio è in ragione diretta della forza del vento. Il pendio dell'altro lato è quello di un *talus* formato da materie incoerenti. È facile intendere come lo strato superficiale di sabbia del piano esposto al vento sia ruzzolato dal vento stesso sul pendio fino al vertice della duna, e quindi precipiti dal vertice sull'opposto piano inclinato, a formarvi un nuovo strato. Il vertice della duna si sarà portato più in là, cioè la duna si sarà avanzata. Il seguente diagramma (fig. 10) mette in chiaro questo meccanismo

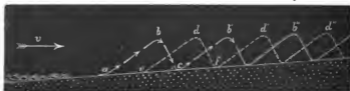



Fig. 10. Meccanismo delle dune.

semplicissimo. Sotto l'impulso del vento dominante v, lo strato di sabbia $a\ b$, spinto innanzi, è obbligato a sollevarsi, scivolando sul piano incli-

nato della duna *a b*. Ogni granello giunge al vertice *b*, e qui naturalmente cade sull' opposto piano inclinato *b c*, ove si accumulano tutti i granelli, formando uno strato, disposto secondo le leggi dei materiali incoerenti. Così lo strato *a b* si è sovrapposto allo strato *b c*, cioè la duna si è avanzata di una quantità equivalente allo spessore di detto strato. A poco a poco il vertice *b* si sarà avanzato fino in *d*, e la duna *a b c* avrà servito a formare la duna *e d f*. Contemporaneamente i vertici *b'*, e *b''* ecc. saranno divenuti i vertici *d'* e *d''* ecc., cioè tutto il sistema delle dune si sarà avanzato. È per tale meccanismo semplicissimo, che le dune, sempre nudrite da nuove dejezioni marine, si internano nel paese, portandovi la devastazione. Colmano i laghi, inghiottono foreste e paesi, cambiano in deserti le più ubertose campagne. In riva al golfo di Guascogna, le dune, alte da 4^m a 50^m, sopra una superficie di 300 miglia quadr., si avanzano continuamente. L'altezza delle dune e la loro velocità sono naturalmente in rapporto diretto colla forza del vento; si osservano dune alte 100^m all'imboccatura del Tay in Scozia, e si avanzarono 1609^m in venti anni a Suffolk. Le dune sono una vera formazione terrestre originata dal mare, nel senso stesso che i sedimenti marini detritici, di cui parleremo, sono formazioni marine originate dalle terre. Le dune, costituenti nei deserti quelle formazioni imponenti, per cui i deserti stessi, per la vastità, come per la forma e la mobilità della superficie furono paragonati all'oceano, seguono le stesse leggi delle dune dei littorali; con questa differenza però, che le dune dei deserti sono semplicemente una forma che i venti danno alle sabbie già accumulate di quei mobili piani; mentre le dune delle spiagge nascono dal mare, e sono veramente terreni in formazione.

CAPITOLO V.

L'ATMOSFERA COME AGENTE DEGRADATORE.

155. Non è punto esaurita la rassegna di quelle virtù, per cui l'atmosfera merita veramente il titolo di agente modificatore universale. Se è tale per le sue proprietà fisiche, e per la sua attività meccanica, non lo è meno per la sua virtù chimica, del pari universale e molteplice.

Tutto pere quaggiù. La sentenza non colpisce soltanto gli animali e i vegetali, la cui esistenza si chiude in sì breve giro, terminando d'ordinario gli uni e gli altri collo sciogliersi, quasi direi, nell'atmosfera, la quale come li nutre viventi, li assorbe estinti, attivando, come agente universale, i diversi processi di putrefazione, di fermentazione, di combustione. Soggetti a perire sono pure le masse minerali, le rupi, le montagne, i continenti. Non fa bisogno d'iscrizione per distinguere dai moderni gli antichi monumenti: essi portano sopra sè stessi, scritta dai secoli, la data della loro antichità. Il *dente edace del tempo* è una traduzione in linguaggio poetico di ciò che la scienza chiama, con termine generale, erosione meteorica. Perchè una rupe di granito, di porfido, sia distrutta, non dovrà attendere nè i fulmini che l'atterrino, nè i terremoti che la sfascino. Basterà lasciarla tranquilla al suo posto: voi la vedete dapprima scolorarsi; poi gradatamente la superficie si fa più molle, si copre di polvere; gli spigoli si ottondono; tutta la rupe si disquama e cade a brani a brani; i brani stessi si scompongono, e della rupe non rimane che un mucchio di polvere che il vento disperde, o le pioggie trascinano al mare. Così le montagne, i continenti si sfasciano, si polverizzano, e ben presto le terre non rimarrebbero che come mucchi di sabbia cui il mare finirebbe ad ingojare.

156. Di questo immenso e continuo lavoro di demolizione, unica autrice è l'atmosfera. Se ci ha bisogno di prove per ciò che si traduce in un fatto così universale, e così parlante agli occhi nostri, farò soltanto osservare, la prima necessaria precauzione, che si usa per conservare più a lungo qualunque oggetto o organico o inorganico, essere quella di sottrarre l'oggetto all'azione atmosferica.

157. Ma tra i componenti dell'atmosfera, essenziali od accessorî, qual'è l'agente principale in un processo, a cui non si sottrae nessun atomo minerale alla superficie della terra? — Questo agente principale è l'acqua. Per la prima volta noi scopriamo nell'acqua quella virtù chimica, che le assicura il nome di *solvente universale*. Vedremo come, nella chimica del globo, l'universale, direbbesi l'unico, reagente impiegato in tutti i processi esterni ed interni, è l'acqua. Ora ci basti vederla esercitare la sua azione in quanto è sciolta nell'aria e costituisce una parte integrante del fluido che involge il pianeta. La più volgare esperienza basta a dimostrare, come dall'acqua ripete principalmente l'atmosfera la sua virtù chimica, cioè la virtù di decomporre le rocce, riducendole in tale stato che, o si sfasciano da sè, cadendo a brani a brani, o sono facilmente distrutte dalle acque correnti, che ne esportano i disgregati elementi. Abbiamo detto poc'anzi, che la prima precauzione a usarsi, per conservare gli oggetti rocciosi o minerali in genere, è quella di sottrarli all'atmosfera. Meglio avremmo detto *all'umidità*. In fatti i lucidi marmi, p. es., che servono di decorazione all'interno di un tempio, si conservano lucidi per secoli, mentre gli esterni in breve tempo si appannano e si consumano. Non è dunque propriamente l'atmosfera, cioè l'aria, che eroda; ma l'acqua, unita all'atmosfera, allo stato di vapore o di liquido, di nebbia o di pioggia. E dove l'acqua si arresta più a lungo, come nel superficiale terriccio, nelle cantine, nei locali a terreno, più rimarchevole, più rapido, più profondo, è il processo, per cui si decompongono le rocce e i metalli.

158. Ho detto: non l'acqua semplicemente, ma *l'acqua unita all'atmosfera*, ossia all'aria. L'acqua da sola agisce in un modo affatto diverso: invece di distruggere, esercita talora un'azione antisettica, cioè conservatrice: così vedremo, p. es., i vegetali, torbificarsi in seno alle acque, in luogo di distruggersi come quando sono esposti all'aria: così i cementi idraulici si indurano e si consolidano sempre più, sommersi nell'acqua, mentre facilmente si decompongono esposti all'atmosfera. I grandi processi tellurici, intèrni e esterni, principalmente per ciò che riguarda i casi infinitamente molteplici di composizione o di decomposizione dei minerali e delle rocce, pajono ridursi tutti, o quasi tutti, a un gran processo elettivo, infinitamente molteplice, a un gran lavoro elettro-chimico, in cui le diverse sostanze minerali rappresentano, secondo i casi, o l'elemento positivo, o l'elemento negativo. Parlandosi dell'acqua però, si direbbe, non solo che ella si presta, quando viene il suo turno, come elemento in uno o in altro processo, ma che in tutti i processi elettro-chimici essa si insinua, o come elemento positivo, o come negativo. Anche il lavoro della decomposizione meteorica sembra ridursi a un processo elettro-chimico, infinitamente multiforme, come

sono multiformi le sostanze che ne prestano la base: ma in questo processo l'aria e l'acqua si trovano invariabilmente associate, sicchè l'una non agisce senza l'altra. Queste idee acquisteranno luce mano mano che riconosceremo nell'acqua un *solvente*, quindi un *agente genetico* e *metamorfico* universale.

Veduto quale sia la causa principale della degradazione meteorica, vediamone più specialmente gli effetti, e le condizioni che li favoriscono o li contrariano.

159. La natura mineralogica della roccia è la prima tra le ragioni che determinano la misura della degradazione. Il feldspato, p. es., che entra come costitutivo d'una gran famiglia di rocce, dette perciò feldspatiche, è soggetto a decomporsi sotto l'azione atmosferica. Pigliamo un granito, roccia composta di feldspato, quarzo e mica. Il feldspato, penetrato dall'umidità, si rammollisce. Il quarzo ed il mica, a cui il feldspato serviva come di cemento, rimasti per tal modo liberi, cadono sotto forma di sabbia, che sarà portata in giù dalla prima pioggia che venga.

160. La seconda ragione sta nella struttura della roccia. Lo stesso granito, che si sgrana pel rammollimento del feldspato, si disaggregherà anche in ragione della sua struttura granulosa, per cui l'acqua vi si infiltra agevolmente, raddoppiando, centuplicando l'estensione, sulla quale opera come solvente. Il clivaggio, cioè la facoltà di presentare certe linee di frattura, che distingue certe rocce, è pure un ausiliario della degradazione, aprendo facili meati all'infiltrazione.

161. I cambiamenti di temperatura facilitano pur essi la decomposizione, per gli ineguali movimenti di dilatazione o di contrazione, che fanno subire alle diverse parti della roccia. L'azione del sole, p. es., quando si tratti di una roccia composta di sottilissimi strati, ha per effetto di staccare lo strato superficiale, più dilatato, dall'inferiore, che lo è meno; e così via via, uno strato dopo l'altro, sfogliando la roccia, e moltiplicando così le vie alla infiltrazione, e le superfici attaccabili.

162. È nota ai fisici la potenza del gelo. L'acqua, infiltrata nei pori e nei crepacci di una roccia, si dilata congelandosi, e la spacca colla forza meccanica di una mina. I pezzi liberi, appena avvenga il disgelo, cadono. Una roccia granulosa può essere così letteralmente polverizzata. Ciò si vede, p. es., avvenire sovente dei pezzi di granito entro il terriccio superficiale, ove così spesso d'inverno si alternano il gelo e il disgelo. Le nevi perpetue, esercitando un'azione protettrice, impediscono l'alternarsi del gelo e del disgelo, e ci tolgono di vederne gli effetti. Ma nelle regioni sotto livello delle nevi perpetue, o dove le erte esagerate impediscono alla neve di accumularsi, le enormi frane e le forme acute dei monti accusano la potenza dell'agente in discorso.

163. L'esposizione delle roccie, e in genere il clima di un paese, sono condizioni per cui varia assai la misura della degradazione. Basta a conferma richiamare le ingiurie, cui sono soggetti i fabbricati esposti da noi a tramontana, e confrontare fra loro gli antichi monumenti delle diverse regioni.

164. Carlo d'Orbigny nel suo corso di geologia applicata vanta, con poetico linguaggio, l'eternità del granito, a cui vuole quasi esclusivamente riserbate le opere monumentali, appellandosi agli antichissimi monumenti dell'Egitto. Non so se le favolose antichità dell'Egitto, e le antichità africane in genere, sussisterebbero ancora, se, in luogo di essere state edificate in quelle regioni senza pioggia e senza geli, fossero sôrte nelle nostre regioni subalpine.

165. Viaggiando in Toscana, fui colpito dalla freschezza dei monumenti che l'adornano, singolare davvero in confronto dello stato di deperimento che presenta, p. es., il Duomo di Milano. Il campanilo di Giotto a Firenze, la cattedrale di Pisa fondata nel 1063, il Battistero e la Torre pendente, opere che si eressero tra il 1100 e il 1200, la cattedrale di Siena, tra il 1059 e il 1240, ecc., sono monumenti anteriori al Duomo, di cui cominciò la fondazione nel 1387. Nè io credo che alla conservazione ed ai ristauri di quei monumenti toscani si adoperassero quella pia munificenza e quella solerzia, che da oltre quattro secoli formano uno dei più bei vanti della civiltà milanese. Alcuni attribuiscono il danno della nostra cattedrale alla cattiva qualità dei materiali; ma io credo che nulla esista di meglio dei calcari saccaroidi o cipollini impiegativi. La ragione è piuttosto nelle diverse condizioni meteorologiche. Secondo gli studi di Maury, una tra le zone più determinate di siccità è definita da due linee, l'una condotta dall'isola Galapagos a Firenze, l'altra dalla bocca delle Amazzoni ad Aleppo. Una tal zona comprenderebbe adunque l'Italia centrale e meridionale, la Grecia, ecc., regioni segnalate per la conservazione di antichi monumenti. La scarsità delle pioggie in parecchie regioni, la siccità abituale dell'aria, anche dove le pioggie sono abbondanti, e la quasi assenza del gelo, sottraggono all'azione meteorica i principali ajuti. L'esperienza nostra ci dice abbastanza, quanto diversamente avvengano le cose nelle regioni subalpine, e in genere nell'Italia settentrionale. Le pioggie reiterate in ogni stagione, le nebbie quasi continue d'inverno, frequenti d'estate, l'alternare del gelo del disgelo coll'alternare dei giorni e delle notti per mesi e mesi, collocano e gli edificî e i costruttori nelle condizioni più disperate. A nessuno, nemmeno de' nostri alpigiani, cadrebbe in pensiero, p. es., di edificarsi quelle case di puro fango, che così frequenti osservai nell'Abruzzo e altrove nell'Italia meridionale.

166. Il terriccio stesso, prodotto dalla degradazione, ne diviene un ausiliario potente. Imbevendosi d'umidità, e trattenendola a guisa di spugna, opera sì, che la roccia sottoposta è di continuo impregnata dall'acqua d'in-

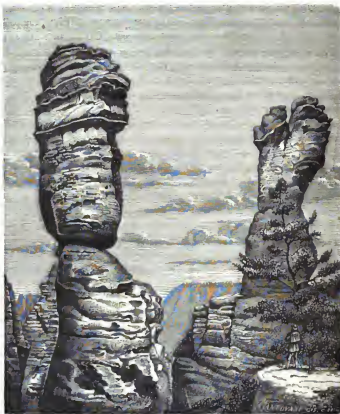



Fig. 11. Le colonne di Ercole nel Bielagrund (Svizzera Sassone).

filtrazione, e soggetta quindi continuamente all'azione dei solventi ed alle alternative del gelo e del disgelo.

167. Anche qui tuttavia dobbiamo osservare, che il terriccio, quando sia coperto dalla vegetazione, specialmente da uno strato erbaceo, esercita, come la neve, un'azione protettrice. Un suolo così disposto è provato dall'espe-

rienza quasi inalterabile. Antichi accampamenti e tumuli antichissimi sono mirabilmente conservati, ad onta della loro vetustà.

168. Troverete nei trattati di geologia un gran numero di esempî in prova di quanto ho esposto: vi richiamo i graniti di Cornovaglia, la cui degradazione è agevolata dal clivaggio prismatico; le così dette *pile di formaggi*, e le *pietre barcollanti*, non altro che prismi granitici cui la degradazione rese subsferici [1]; i colonnati di arenaria nella Svizzera Sassone [2], tutta composta di un *grés*, il quale alla struttura grossolana aggiunge il più deciso clivaggio prismatico così favorevole alla erosione; le ingenti devastazioni dei distretti ove domina il gesso, come nell'Alta Tarantasia, o il sale, come sulle rive dell'Huallaga nel Perù, ecc. Ma noi ci riserviamo di ritornare sull' argomento, e sopratutto di citare esempî, quando, oltre al fenomeno della degradazione per sè, dovremo considerare le forme che ne risultano.

169. La lenta degradazione meteorica, coll'accumularsi degli effetti, deve alla fine produrre importanti modificazioni sulla superficie del globo. Noi vediamo infatti come essa influisca sulla orografia delle diverse regioni, riuscendo talora a dar loro un'improuta speciale, affatto diversa da quella voluta dalla geologia stratigrafica da cui dipende. Ma anche di ciò più tardi.

170. Il processo della *erosione meteorica* preso per sè stesso è, in genere, assai lento, per quanto gli siano favorevoli le diverse condizioni litologiche

---

1 Siccome il granito è quello che, forse meglio d'ogni altra roccia, aduna in sè le condizioni della erodibilità; così gli autori cercano a preferenza nei distretti granitici gli esempi della degradazione meteorica. Il *Cheesewring* o *Pila di formaggi* presso Liskeard in Cornovaglia non è che una massa, direbbesi un pilastro, composto di cubi di granito sovrapposti, erosi dal tempo in guisa, da presentare ciascuno una forma sferoidale, come si vede nella figura 12. Vuolsi sapere che il granito in Cornovaglia è, dovunque si presenta, ordinariamente diviso in cubi o in prismi regolari per naturale clivaggio. Uno sferoide di granito, ridotto dall'erosione a toccare con pochi punti la base su cui è collocato, diventerà un *Logan stone*, cioè una pietra barcollante. Il Logan stone, presso Lands End, descritto da La Bèche, è uno sferoide di granito del peso di 66 tonnellate, ma così equilibrato, che si move al semplice urto di una mano. Simili e migliori bizzarrie presentano ovunque i distretti granitici, come lo attesta Spallanzani pei graniti di Messina, Pilla per quelli di Calabria e dell'isola d'Elba, ai quali aggiungerò i graniti da me stesso osservati lungo il Danubio tra Linz e Vienna. Le stesse forme però sono presentate da altre roccie, in ispecial modo, dai grés, dalle trachiti, e dalle roccie granulose in genere.

2 Si chiama Svizzera Sassone, con espressione universalmente accettata, il paese che si distende sulle due rive dell'Elba, sui confini tra la Boemia e la Sassonia, a un dipresso tra Aussig e Dresda. Le rupi rappresentate dalla fig. 11, sono tutt'altro che un qualche cosa di eccezionale colà. Colonne e colonnati fantastici, giganteschi, sorgenti ovunque dai verdi altipiani, o dal fondo delle valli, o sui fianchi dell'Elba, costituiscono ciò che si direbbe la fisonomia del paese. Il geologo non scorge altro in ciò che enormi piattaforme di arenarie grossolane, a clivaggio prismatico distintissimo, rose, smembrate dall'azione erosiva dei secoli, iniziata probabilmente in origine dal mare, durante il sollevamento del paese. Il disegno delle *Colonne d'Ercole* è preso da una fotografia.

o climatologiche. Ma lo stesso processo prepara degli esiti repentini, per cui i suoi effetti sono, per dir così, immensamente accelerati. Le frane e gli scoscendimenti non sono altro infatti che le conseguenze della erosione meteorica considerata nella moltiplicità de' suoi costitutivi. A franarsi sono

Fig. 12. Cheesewring, o Pila di formaggi.

soggette, meglio che le rocce di cui è facile la decomposizione, quelle in cui ha luogo piuttosto che una decomposizione, un frattnramento. Osserverete, p. es., le frane piuttosto nelle montagne dolomitiche che nelle montagne arenacee od argillose. A persuaderci della importanza delle frane basta il percorrere certi distretti che nesono deso lati, p. es., la val Ganna, dove è scavata nel granito porfiroide, e tutte le valli lombarde in seno alla gran massa della dolomia prealpina. Vi vedreste montagne quasi emergenti dal proprio detrito, ossia coperte fin quasi alla vetta dal proprio sfasciume. La parte che non rimane coperta, mostra, colle sue forme a denti, ad aguglie,

e colle diverse tinte di maggiore o minor vetustà, la continua rovina a cui è soggetta. La frana è poi quella che presta, come vedremo, il più abbondante alimento all' azione erosiva delle correnti ed alla formazione delle morene glaciali.

171. Al gelo e al disgelo si devono principalmente le frane. È un fatto che la frana si accresce di preferenza in primavera, stagione temuta in certi distretti per il frequente staccarsi di massi dall'alto delle montagne. Più sottoposti a franare sono i monti a rapido pendio, o a fianchi verticali. La frana consta delle stesse roccie che compongono la montagna, alla cui baso si dispongono a *talus* o scarpa, più o meno ripida, ma la cui pendenza non oltrepassa, secondo E. de Beaumont, i 42°. Le frane, cementandosi per effetto delle acque incrostanti al modo che studieremo più innanzi, possono dar luogo a vaste formazioni di conglomerato, che, constando a preferenza di frammenti angolosi, sarà analogo alle rocce che diconsi brecce.

172. Talora le frane assumono proporzioni formidabili, e si chiamano scoscendimenti. Gli effetti, lentamente accumulati, si risolvono in repentine catastrofi, capaci di cambiare in un batter di palpebre la faccia di un paese; catastrofi tanto più terribili, quanto più lento e clandestino è il loro apparecchio. Gli scoscendimenti possono ripartirsi in classi, secondo la causa che li produce, o almeno vi prevale. Distinguo: 1.° *Lo scoscendimento per rammollimento del sotto-strato.* Suppongasi una massa rocciosa che riposi sopra uno strato argilloso in pendio. Le acque di infiltrazione potranno rammollire il sotto-strato in guisa, che la massa rocciosa scivoli, e si precipiti in basso. Fu il caso del famoso scoscendimento del Rosberg nel cantone di Schwitz. La massa, scoscesa nel 1806, era di *Nagelflue*, cioè d'una puddinga a grossolani elementi, riposante sopra strati di argille e di grès marnosi. Uno dei più fertili territorii della Svizzera si convertì in un attimo in un cumulo di sfasciume. Nell'Appennino, ove così sviluppate sono le argille, tali scoscendimenti sono frequentissimi. 2.° *Scoscendimento per erosione del sotto-strato.* Le acque, circolanti nelle fessure, erodono il sotto-strato qualunque egli sia, ne esportano diverse porzioni, finchè la massa sovrimposta cada per mancanza di sufficiente adesione alla propria base. Lo scoscendimento di Gera e Bareono in Valsassina nel 1762 pare avvenisse per questa cagione. Le lunghe pioggie, che lo precedettero, avevano certamente praticate delle erosioni, per cui la massa del terriccio vegetale, e una gran massa di roccia analoga al gneis, già rotta in mille frammenti, vinse l'adesione colla montagna, e scivolò in basso. Non altrimenti pare sia avvenuto lo scoscendimento di Lemna sul Lago di Como. 3.° *Scoscendimento per schiacciamento del sotto-strato.* In questo caso il sotto-strato è ancora una massa plastica, quindi argillosa, rammollita, di spessore ab-

bastanza considerevole, perchè la massa sovrapposta, schiacciandola, si sposti dal suo centro di gravità, e venga a cedere. Classico esempio è quello offerto dal Plettenberg presso Rathshausen nella Svevia, nel 1851. Una enorme massa stratificata di calcari e di marne schiacciò degli strati di marne argillose, che, spandendosi, coprirono 17000 are di terreno, e venne a giacere quasi capovolta, presentando un esempio d'inversione, della serie stratigrafica, per puro effetto di scoscendimento. 4.° *Scoscendimento per incoerenza.* Una massa di detrito incoerente, o di roccia fratturata per l'azione meteorica, resa sempre più incoerente dalle acque di infiltrazione, può infine sfasciarsi e scoscendere. Pare sia stato il caso dello scoscendimento del monte dei Diablerets nel Vallese, che, dietro a scrosci, come di una massa che si sfascia, che si udirono per due giorni, continuò a franare per altri parecchi. Così avvenne forse lo scoscendimento del Gargnano presso Napoli, per cui rimasero vittime 300 persone sotto uno sfasciume di terriccio e di lapilli. Tra i molti accidenti geologici, a cui possono dar luogo gli scoscendimenti, accennerò lo sbarramento di una valle come uno dei più ordinari e dei più importanti. Ricorderò in proposito lo scoscendimento del monte Spitz, che nel 1771 ingombrò per un miglio il Cordevole, e diede origine, coll' arresto delle acque, al lago Aleghe, ungo 2 chilometri, e profondo 90 metri.

CAPITOLO VI.

LE CORRENTI DI TERRA.

173. Nella universalità dell'aziono esterna l'acqna tiene il primo posto dopo l'atmosfera. Abbiamo vednto come essa, associata all' atmosfera, è l'agente principale della degradazione meteorica. Vediamola ora operare da sè, sia che precipiti dalle nubi in forma di pioggia, o scorra come corrente di terra, o in fine si dilati nei laghi e nei mari.

174. Noi ci siamo già anzi avanzati di troppo, quando, segnendo l'esempio dei geologi, abbiamo citato, come effetto dell'azione meteorica, le rupi sfasciate, le franc e gli scoscendimenti. L' azione atmosferica si arresta, propriamente parlando, alla decomposizione delle roccie, ed in questo processo l'acqna funziona come agente elettro-chimico. I fenomeni citati invece sono lo consegnenze immediate della decomposizione; ma vi operano già altre forze: o la semplice gravità, nelle frane e negli scoscondimenti; o l'acqna, come agente meccanico, nella esportazione degli elementi delle roccie decomposte. Noi ora dunqne consideriamo l'acqua come qnella che subentra, colla sua potenza meccanica, immediatamente all'atmosfera, per continuare e compire il grande processo della degradazione de' continenti. È nn grande lavoro di rovina e di riparazione, che l'atmosfera inizia, le correnti prosegnono, il mare trae a compimento. I continenti che si sfasciano, si ricompongono sott'altra forma. Così in natura tutto si consuma, e nnlla si perde.

175. L'atmosfera, per mezzo dell'umidità, decompone le roccie; qneste, decomponendosi, si rammolliscono, e sovente anche perdono di coesione. Basta un nonnulla perchè qualunque più solida roccia sia dispersa ne' snoi componenti: l' acqua è il medio meccanico ordinario di tale dispersione. Già la pioggia, percorrendo il suolo, pnò in circostanze propizie esercitare nna certa rapina. Abbiam visto però come un tappeto erboso basta a proteggere il snolo che ne è coperto. Anche qnando il suolo sia nudo, se è molto assorbente, la pioggia non ci pnò nulla, venendo bevuta mano mano che cade. L'acqna in fine ha bisogno di potersi arrestare, adunare,

di formare corrente, e allora si sviluppa la sua virtù meccanica, suscettiva di un progresso indefinito.

176. Quando dico corrente, non intendo súbito nè un torrente nè un fiume. La pioggia, che cade sopra un piano inclinato, forma bentosto dei fili, dei rigagnoli, i quali, benchè quasi microscopici, sono capaci col tempo di effetti prodigiosi. È così che, mentre non rimane traccia delle pioggie che da secoli cadono sul dorso di un colle argilloso o sabbioso dell'Appennino, vediamo il colle stesso rôso rapidamente e profondamente lacerato sui fianchi, senza che vi si mantenga il più piccolo ruscello.

177. Lo Scrope [1] cita un esempio quanto può dirsi opportuno a mettere in luce la grande differenza che passa tra l'azione erosiva immediata delle pioggie e quella delle correnti. Il Puy de Chaspinhac nell'Alvernia è un cono di cenere vulcanica perfettamente conservato. Egli è pure, secondo ogni probabilità, il punto di emissione di una gran corrente di lava basaltica durissima, che costituisce ora un altipiano, detto Plateau de Fay. Quell'altipiano è diviso dal cono di cenere pel fiume Sumêne, il quale si è scavato in seno a quella corrente durissima una gora di oltre 240 metri. Nel tempo, in cui una corrente ha potuto incidere nella viva roccia una gola così profonda, non riuscirono le pioggie ad alterare la forma di un mucchio di cenere.

178. Distinguiamo nella corrente: 1.° il bacino di ricevimento o bacino idrografico [2]; 2.° il canale di ricevimento; 3.° la foce. L'azione poi della corrente comincia all'origine del canale di ricevimento, e termina alla foce. Essa è meccanica, e il suo valore è condizionato: 1.° alla velocità; 2.° alla densità del liquido; 3.° alla resistenza. Gli effetti di una corrente sono in ragione diretta della sua *velocità* e *densità*, inversa della *resistenza*.

179. La velocità dipende primieramente dal pendio. Un fiume che superi 4 minuti primi di pendenza non è più navigabile. Una pendenza di 1 a 2 gradi basta perchè la corrente trascini un masso di mezzo metro di diametro. La velocità dipende in secondo luogo dalla strettezza del canale o, ciò che è lo stesso, dall'altezza dell'acqua. Quella corrente, che corre ruggendo assottigliata entro una gora, si acquieta d'un tratto, appena sbocchi nel piano. Non tutte le molecole d'acqua sono animate dalla stessa velocità, sia che si piglino sopra una sezione orizzontale, sia che si piglino sopra una sezione verticale. L'attrito contro le sponde, contro il fondo e contro

---

[1] *Les volcans*, pag. 68.

[2] *Bacino idrografico* si dice propriamente di quello di un fiume primario, che abbia molti confluenti, e quindi consti di molti bacini di ricevimento.

l'atmosfera incombente, unito alla legge di coesione dei liquidi, esercita un'azione ritardante. Sarà più veloce una molecola, quanto più dista dalle sponde e dal fondo; quindi la maggior velocità d'una corrente regolare sarà sulla linea mediana e verso la superficie. Non interamente alla superficie, perchè l'attrito contro l'atmosfera abbassa il punto di massima velocità. Ad atmosfera immobile, le molecole acquee, prese sopra una linea verticale, e supposte spostarsi seguendo il corso della corrente, descrivono una curva parabolica; la maggior protuberanza di questa curva, ossia il punto di massima velocità, coincide coll'asse della parabola, e si trova a $^3/_{10}$ dell'altezza della corrente, partendo dalla sua superficie. Ma potendosi l'atmosfera muovere in senso favorevole o in senso contrario alla corrente, l'asse della parabola, ossia il punto di maggior velocità, oscilla, alzandosi verso la superficie nel primo caso, abbassandosi verso il fondo nel secondo. Una curva parabolica presenteranno pure le molecole, prese sopra una sezione orizzontale, avanzandosi esse tanto più velocemente, quanto più distano dalle sponde. In un letto regolare, l'asse della parabola coinciderà colla linea mediana della corrente. Dipendendo la massima velocità dal pendio e dalla profondità della corrente, si troverà naturalissimo il fatto che la massima velocità non si verifica ordinariamente nè alle origini delle correnti, dove esiste il massimo pendio, nè alla foce ove si misura la massima profondità, ma nella parte media, ove il pendio e la profondità si associano in grado sufficiente per produrre il massimo effetto.

Ecco la velocità di alcuni fiumi, espressa in metri per ogni minuto secondo, secondo le esperienze degli Schlagintweit, trascurando alcune minime frazioni.

Reno	$0^m,97$	a	$1^m,62$
Danubio	$0^m,11$	a	$1^m,62$
Isar	$0^m,32$	a	$2^m,59$
Oetz	$1^m,29$	a	$2^m,59$
Möll	$0^m,97$	a	$2^m,59$
Torrentello sgorgante da un ghiacciajo.	$1^m,62$	a	$7^m,13$

180. La forza meccanica della corrente, crescente colla densità del liquido, è provata dagli effetti prodotti dalle correnti fangose. I disastri che han luogo per le correnti improvvisamente gonfiate da un nubifragio, non dipendono tanto dall'aumento della massa d'acqua, quanto dal farsi essa fangosa.

181. Una corrente adunque promove la degradazione dei continenti con una attività proporzionata alla sua forza meccanica. I brani di roccia che si trovano liberi, specialmente in virtù della decomposizione meteorica, sono smossi, e trascinati al basso, finchè l'impulso della corrente non sia vinto

dalla resistenza del materiale. Allora la corrente lo abbandona, o lungo il suo cammino, o inevitabilmente alla sua foce. Dobbiamo distinguere adunque nell'azione della corrente due momenti o periodi, che si succedono, si alternano, o anche sono concomitanti nei diversi punti della corrente stessa. Distingueremo anzi tre periodi, dovendosi considerare come fenomeno specialissimo quello della dejezione del detrito in un mare, o in un lago, ove il collocamento del materiale deve seguire una risultante tra l'azione della corrente che dà, e quella del bacino che riceve. Distinguiamo adunque nell'azione della corrente: 1.° l'*erosione*, 2.° la *dejezione*, 3.° la *deltazione*. Ora delle due prime; riservandoci a parlar della deltazione, quando avremo conosciuto come i laghi e il mare determinino, per la parte che loro spetta, il fenomeno.

182. La corrente *erode*, cioè smove i materiali da monte a valle. Le sostanze più leggiere sono tenute in sospensione; le più pesanti rotolate sul fondo; il tutto proporzionalmente alla forza della corrente stessa, colle condizioni già esposte. A 6 pollici di velocità per secondo smuove le sabbie finissime; a 8 le grossolane; a 12 le ghiaje; a 24 i ciottoletti di un pollice di diametro; a 3 piedi i ciottoli della grossezza di un uovo. Si vide una corrente smovere un masso di 137 metri cubici.

La forma del *ciottolo rotolato* è la caratteristica del detrito, grosso o minuto, condotto da una corrente. Non è altro essa medesima che una conseguenza dell'azione erosiva della corrente. Un brano qualunque di roccia, in balia della corrente, striscia sul fondo, si sfrega, e quindi si erode. Ma stante l'inevitabile irregolarità degli assi, e la diversa velocità della corrente nei diversi punti, non può un ciottolo sdrucciolare, senza rotare sul proprio asse verticale, per cui, sfregandosi sui lati, tenderà ad assumere la forma di un disco. Ma al tempo stesso che il ciottolo striscia sul piano inclinato del torrente, se appena incontra un ostacolo sul davanti, la corrente, che lo spinge all'indietro, lo costringerà ad un capitombolo, cioè a rotare sull'asse orizzontale, e quindi a pigliare la forma di un cilindro. Risultante sarà la forma elissoidale, e a preferenza quella di un elissoide discoidale, che è la caratteristica dei ciottoli fluviali.

183. Fin qui dell'azione erosiva principale, quella che si esercita cioè sulle roccie in posto, ma incoerenti, e già divise in brani, o sui brani stessi, nell'atto che sono travolti della corrente. Ad essa azione non si sottraggono però nemmeno le roccie fisse più dure, più compatte e coerenti. Veramente l'azione immediata dell'acqua corrente sopra una roccia coerente, se non è nulla, è per lo meno inapprezzabile. Un masso, fermo in mezzo a un torrente, ci starà dei secoli, senza dar indizio di alterazione nessuna, purchè l'acqua sia limpida. Ma se l'acqua non può da sola rodere la roccia, ci

arriverà per bene, armata di quello stesso detrito, che seco trascina. Così entro le zone alpine, ove passano violenti le torbide, gli indizî della erosione sono visibilissimi. L'acqua vi ha agito a modo di lima; le pareti della gora sono sinuose, ma lisce, e come smerigliate. Anzi la profondità della gora, e il liscio delle pareti, che sovrasta d'assai al pelo del torrente, attestano spesso come, in gran parte, la gora stessa deve alla erosione la sua esistenza. Bellissimo esempio ne presta la gora del Reno così celebre sotto il nome di Viamala.

184. La *dejezione* incomincia quando la corrente, scemando di forza, abbandona le materie erose ed esportate. L'erosione e la dejezione sono due azioni distinte, ma contemporanee in diversi punti della corrente pei materiali dello stesso calibro, e nello stesso punto per materiali d'un calibro diverso. Mentre, p. es., trasporta i ciottoli a monte, li depone a valle; mentre li depone sulle sponde, li trasporta ancora nel centro; mentre li depone in un punto, nello stesso punto smuove e trasporta le ghiaje, ecc.

185. Da ciò due modi di distribuzione del prodotto d'erosione: 1.° in un senso longitudinale, deponendo la corrente i più grossi materiali a monte, i più piccoli a valle; 2.° in senso trasversale, deponendo i più piccoli verso le sponde, i più grossi sulla linea mediana.

186. Un terzo modo di distribuzione si avvera anche nel senso verticale, dovuto all'alternanza delle magre e delle piene, per cui, nell'identico luogo dove la piena abbandona i ciottoli, la magra abbandonerà le ghiaje, e successivamente le sabbie e le fanghiglie. Da ciò la stratificazione del terreno alluvionale. Le continue vicende a cui è soggetta la corrente, alterando per mille accidentalità il suo corso e la sua forza in uno o in altro punto, spiegano quella irregolarità di stratificazione, che è caratteristica delle formazioni alluvionali e specialmente delle torrenziali.

187. Talora è tanto rapido il passaggio della corrente da un'estrema violenza alla perdita quasi totale del potere erosivo, che non ha luogo la distribuzione regolare dei materiali esportati, succedendone improvvisa la totale dejezione. Tale fenomeno è presentato al suo maximum dai *talus* caotici, o coni di dejezione, che si formano allo sbocco delle correnti alpine, quando esse, da uno stretto canale, si versano immediatamnnte nel piano o nell'aperta valle.

188. Con una facile applicazione delle leggi sopra esposte si spiegano le circostanze e le forme presentate dall'alveo delle correnti, o in generale, dalla regione fluviale. La forza massima d'erosione, immanente in genere nella parte mediana della corrente, dà ragione della concavità dell'alveo. Ma l'alveo stesso si presenta in tre diverse condizioni, per rapporto alla regione circostante, che si spiegano benissimo colle leggi esposte.

1.° L'alveo è talora incassato nella regione circostante, occupando la linea di incontro di due piani più o meno inclinati nel verso sinclinale. Ciò avviene dove prevale la forza d'erosione. È il modo ordinario di pre-

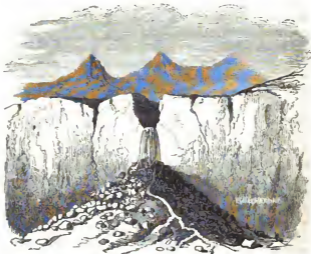



Fig. 13. Cono di dejezione di un torrente.

sentarsi dei fiumi nelle regioni alpine, dove la pendenza è maggiore, e quindi maggiore l'erosione.

2.° L'alveo è elevato per rapporto alle regioni circostanti, occupando il vertice formato dall'incontro di due piani inclinati nel verso anticlinale, e trovasi, per dir così, allineato sullo spigolo d'un prisma. Ciò si avvera singolarmente per le correnti, che scorrono nel piano, dove all'erosione prevale la dejezione. Deponendo più che non esporti, la corrente ostruisce, alza il proprio alveo, e l'eccesso d'acqua è costretto a riversarsi sui lati, producendo due correnti laterali. Nel punto dove dipartesi la corrente laterale, cioè sulla sponda dell'alveo, abbandona i materiali più grossi, successivamente i più fini; l'alveo si alza fra due contrafforti a piano inclinato, che sono il prodotto delle dejezioni laterali.

3.° L'alveo è a livello della regione circostante. Ciò si avvererebbe teoreticamente per una corrente, che scorresse affatto limpida e costante, sicchè non vi fosse erosione nè dejezione. In pratica non si avvera che temporaneamente per le grandi correnti, presso il loro sbocco, dove ap-

pena potè la corrente adeguare colle sue dejezioni le irregolarità del terreno, dove insomma, secondo il modo d'esprimersi degli idraulici, la corrente non ha ancora *stabilito il suo fondo*.

189. Tra gli agenti tellurici non ve ne ha forse nessuno che si presenti così capriccioso e instabile come le correnti. Sia che eroda, sia che deponga, il lavoro di una corrente si tradirà sempre per la sua irregolarità. Così dicasi del minimo tra gli strati alluvionali, come di quelle vaste regioni di alluvioni, che possono considerarsi come le più grandi creazioni dell'epoca attuale. Osserviamo i tratti principali in cui si traduce l'instabilità d'un fiume. Qualunque causa devii la corrente, supponiamo, verso la destra, la determina a ritorcersi verso la sinistra, donde di nuovo ripiegherassi verso destra, e via via: così avremo una corrente tortuosa, come lo sono tutte, o per ragioni orografiche nelle regioni montuose, o per l'ineguaglianza delle dejezioni nel piano. Il moto curvilineo prodotto dalle tortuosità, sviluppa la forza centrifuga, per cui il detrito, in preda alla corrente, tende a passare da sinistra a destra, e viceversa. Da ciò il mescolarsi continuo del detrito delle due sponde. La miscela dei materiali, provenienti dai diversi versanti e dai diversi confluenti di una valle, è carattere a cui la geologia attacca molta importanza, per distinguere i terreni alluvionali dai glaciali. Altro effetto delle tortuosità è il rigonfiamento della piena a monte.

190. La curva primitiva di ogni sinuosità si esagera per le continue erosioni, al punto che la corrente, quasi ritornando sul proprio cammino, tende a stringere un vero circolo. In questo stadio ogni sinuosità presenta la forma di un'ansa, e cinge una specie di penisola formata, o dal terreno eroso all'ingiro, o dalle dejezioni più abbondanti nel concavo della sinuosità. Un istmo riunisce la penisola alla regione circostante. La cosa va tant'oltre, che la corrente taglia l'istmo, e si abbrevia la via, lasciando un'isola, che noi chiameremo *isola di erosione*.

191. Dopo la troncatura dell'istmo, la corrente, o indebolitasi nella sinuosità, o lasciatala intieramente da parte, tende a ostruire la sinuosità stessa, seguendo la retta via apertale dal salto, via cui tende invece ad allargare, stabilendovi definitivamente il proprio letto. L'ostruzione della sinuosità ossia dell'*ansa* sarà più rapida a monte, dove è maggiore il prodotto della dejezione laterale. L'*ansa* si cambierà dapprima in *lanca* o canale cieco in forma ancora d'ansa, ma chiusa a monte o aperta a valle della corrente. Ostruendosi anche a valle, ne risulterà uno *stagno*, ad ansa chiusa ad ambedue le estremità, simile ai molti che si osservano sui lati dei grandi fiumi, che scorrono nel piano.

192. La corrente laterale, prodotta dal rigurgito della corrente, può esser

tale da erodere la sponda dell' alveo in un punto qualunque, fino a tanto che abbia luogo una *rotta,* ossia la totale deviazione della corrente. Ciò succede naturalmente nel piano, dove la forma dell' alveo elevato, come abbiam visto, tra due contrafforti, spiega il come possa ciò avvenire. La rotta può avverarsi poi assai più facilmente verso la foce dei grandi fiumi, dove il letto non è ancora perfettamente stabilito. La ramificazione ordinaria dei grandi fiumi alla foce non è che l'effetto di *rotte* o deviazioni ripetute.

193. *Isole* o *banchi di dejezione* si chiamano quei banchi subelittici di ghiaja, di sabbia o di fango, che si formano tra due correnti parallele, quando nel fiume, per molte cause facili a immaginarsi, si determini una doppia corrente.

194. I confluenti influiscono anch' essi assai nel regime dei fiumi. Il confluente, impedito dal gettarsi direttamente nel recipiente dalla dejezione laterale dello stesso recipiente, cerca più basso un'entrata, e, ripiegandosi, si getta nella corrente ad angolo acuto. L' inflessione che per ciò subisce, si chiama *gomito d' inflessione.* Ma il confluente influisce sulla corrente principale colla propria corrente e colle proprie dejezioni, ed obbliga la corrente principale a ritirarsi verso la parte opposta. La linea occupata da un fiume in un piano alluvionale, è la risultante dei diversi ed opposti confluenti. Il gomito di inflessione può servire di dato geologico, per fissare il primitivo corso della corrente, e quindi di dato cronologico per fissarne l' antichità. Altro effetto dei confluenti è quello di accrescere la piena del recipiente a monte.

195. Quanto abbiamo esposto circa il regime delle correnti collima dunque a dipingerci una corrente come un sistema assolutamente instabile, soggetto ad una serie indefinita di mutamenti, che però si riducono ad una serie di fatti, i quali possono classificarsi o come erosioni o come dejezioni: Però, supposta una corrente costante, verrà un punto in cui l' erosione e la dejezione perfettamente si bilancino in guisa che la corrente rimanga stazionaria. Ma tal modo di stazionarietà non è che ipotetico, poichè non si dà praticamente una corrente naturale, che sia costante. Quando invece la corrente sia incassata, od abbia stabilito il suo letto in guisa che non possano aver luogo travasamenti laterali, potrà essa corrente raggiungere la stazionarietà in questo senso, che la piena spazzi ciò che depone la magra alternatamente. Questo, che direbbesi *equilibrio mobile delle correnti,* si avvera per le correnti ancora chiuse tra pareti rocciose, non alluvionali. L' arginatura è una imitazione artificiale di tali pareti, e ottiene appunto l' effetto di ridurre stazionaria la corrente che sarebbe altrimenti variabile. Ben inteso che l' arginatura sia fatta quando il fondo è perfettamente stabilito; e lo

sarà appunto quando il pendio è tale che le magre e le piene si facciano equilibrio; non ci sia quindi la prevalenza della erosione o della dejezione.

Lo studio del Po conferma pienamente i principi esposti.

196. Una carta qualunque, dove sia indicato il corso di questo fiume, ci mostra come i suoi confluenti gli si uniscono sotto un angolo acuto, piegandosi verso valle, e formando ciascuno un gomito di inflessione a ragguardevole distanza dal recipiente. Riflettasi che una linea, la quale unisse i gomiti di inflessione dei principali confluenti, Ticino, Adda, Oglio, Mincio, ecc., sarebbe approssimativamente parallela alla linea segnata dal corso attuale del Po.

Essendo effetto dei confluenti lo spingere il *recipiente* in senso opposto alla loro direzione, ed essendo un tale effetto proporzionale al valore dei confluenti stessi, vediamo i confluenti alpini prevalere in questo senso sugli Appennini, e correre il Po assai più vicino all'Appennino che alle Alpi.

197. A conferma di ciò che si è detto sulla configurazione dell'alveo, le livellazioni mostrano il Po incassato dapprima inferiormente al livello delle regioni circostanti; si eleva quindi a poco a poco, e raggiunto il loro livello, non si arresta, ma si leva ad altezza considerevole sopra il livello stesso, finchè si abbassa di nuovo per livellarsi col piano delle proprie dejezioni verso la foce. Gran parte delle *basse* lombardo-venete sono depresse sotto al livello del Po, anche durante la magra, e sotto il livello di una parte anche dei confluenti. Depressa singolarmente è la pianura tra l'Adige e il Po.

198. Il Po scorre dapprima in Piemonte sovra letti di ghiaje grosse, che divengono successivamente più fine, fino allo sbocco della Trebbia; più oltre il letto è di sabbia, e più tardi di belletta; questa prevale al dissotto dell'Oglio, e sola fanghiglia trovasi nell'ultimo tronco verso il mare. Tutti questi particolari provano il principio della distribuzione nel senso longitudinale.

199. La maggior forza erosiva si svilnppa ordinariamente, secondo i principî esposti, nella parte media della corrente. Le curve, i serpeggiamenti, le anse, i salti, le lanche, ecc., prevalgono infatti pel Po nel tronco tra Pavia e Guastalla. È anche il tronco dove si verificano le massime piene.

Molti *salti* si avverarono pel Po in epoche relativamente recenti. I più notevoli avvenimenti di questo genere avvennero nel tronco dalla Stellata (nord-ovest di Ferrara) al mare, conformemente alle leggi stabilite. Prima del 1152 il Po, giunto alla Stellata, si biforcava in Po di Primaro e in Po di Volano: l'uno scorreva ad ovest l'altro ad est delle lagune di Comacchio. Nel 1152 avvenne una rotta che determinò l'attuale Po di Venezia.

I due vecchi rami si interrirono; il Panaro gettossi nel Po di Venezia, e il Reno fu condotto artificialmente a scorrere nel letto abbandonato del Po di Primaro.

200. Effetto dei confluenti è di alzare le piene del recipiente a monte. Mentre infatti, pel principio generale (che il massimo di rigonfiamento corrisponde alla parte media), abbiamo a Cremona un massimo di $5^m,95$, che cresce regolarmente fino a $9^m,68$ ad Ostilia, per decrescere fino a $0^m,00$ alla foce; a Piacenza si verifica un massimo parziale di $8^m,02$, dovuto alla confluenza della Trebbia.

201. Il principio poi, che l'arginatura aumenta l'azione erosiva sul fondo, (riducendo le correnti di pianura alle condizioni delle correnti ad alveo depresso o incassato, sicchè essa corrente si fa, per l'alternanza delle magre e delle piene, stazionaria), è splendidamente sanzionato dagli studî del Lombardini. Il Po da quando fu regolarmente arginato, non ha per nulla alzato il suo fondo, dove esso era veramente stabilito. Questo fatto, in opposizione colle teorie di Prony, rese fatalmente volgari da Couvier, si può dire la più preziosa conquista dell' idraulica moderna.

202. Un'opera fondamentale, tanto nei rapporti geologici, quanto nei rapporti idraulici, è il *Rapporto sulle condizioni fisiche ed idrauliche del Missisipì*, pubblicato in Filadelfia nel 1861 da Humphreys e Abbot. Ai più potrà bastare per ora la relazione fatta dal prof. Messedaglia all'Istituto Veneto [1].

Il Mississipì è lungo 7648 chilometri. Il suo bacino idrografico eccede 1,255,300 miglia quadrate inglesi (3 millioni e $^1/_4$ di chilometri quadrati), ossia 47 volte il bacino idrografico del Po che è, secondo, il Lombardini, di 69382 chilom. quadr. Il suo eflusso normale è di 19100 metri cub. per secondo, mentre quello del Po è di 1720 metri cub. Dal punto di confluenza dell'alto Mississipì col Missourì, il fiume si svolge per intero sopra una pianura lunga circa 1300 miglia. Per tutto questo tratto è elevato sopra una zona sommergibile, larga in media 50 miglia (circa 80 chilometri). Vanta ben otto confluenti, tra i quali il fiume Rosso, che è il quinto per importanza, è quasi quattro volte il Po. Per la circostanza che i confluenti, uscendo vorticosi dagli immensi *cannoni*, passano attraverso smisurate foreste, il fenomeno della fluitazione degli alberi, importantissimo per la geologia, come vedremo più oltre, si verifica a scala immensa. Sono famose le *zatte* o ammassi di legname intrecciato, che vi si formano. Una di esse, lunga 13 miglia, e crescente due miglia all'anno, sbarrava il fiume Rosso nel 1854. Il letto del Mississipì è di ghiaje e sabbie, decre-

1 *Atti dell'Istituto Veneto*, 1863.

scenti in volume verso la foce. Esso sarebbe già perfettamente *stabilito*, poichè il fondo non è per nulla eroso, non verificandovisi che il semplice trasporto del detrito che di continuo vi è rinnovato dai confluenti: classico esempio di quella stazionarietà pratica, che raggiungono le correnti naturalmente, e che è mirabilmente coadjuvata dalle arginature. Un sistema di arginature, benchè irregolare, vanta già forse 1000 miglia di fuga.

203. I salti e le rotte hanno luogo con frequenza e grandiosità proporzionate alla potenza del fiume. Nel solo 1800 ne avvennero sei, che accorciarono il corso del fiume di ben 129 chilometri. Le isole vi appaiono e scompaiono con assidua vicenda. Sulla carta, unita al rapporto, si contano 125 isole prodotte da salto.

È calcolato che il fiume non raccoglie che $^1/_4$ delle acque pluviali del suo bacino idrografico. I $^3/_4$ sono smaltiti dall'evaporazione e dalla infiltrazione attraverso il suolo.

Completeremo le nozioni relative al Po e al Missisipi, parlando dei loro delta nelle pagine che consacreremo alla teorica della deltazione.

204. Un caso, che può dirsi eccezionale nel regime delle correnti, e merita parziale menzione in un trattato di geologia, è quello delle *cascate*. Non si vuol dire perciò, che la corrente in tal caso si sottragga alle leggi generali da cui viene retta. Anzi, siccome nelle cascate si verifica il massimo della pendenza di una corrente, così deve aver luogo il massimo della velocità e quindi, proporzionatamente al corpo d'acqua, il massimo d'erosione. La meccanica idraulica seppe ben mettere a profitto la forza, che si sviluppa da una cascata naturale od artificiale. Del resto tutti i fenomeni presentati dalle cascate non sono, per dir così, che l'esagerazione degli effetti prodotti dalla corrente nel suo periodo di erosione, per esercitare la quale si verificano tutte le condizioni più vantaggiose. Il fenomeno è per sè stesso di poca importanza, stante la sua eccezionalità; ma diviene importantissimo sotto alcuni rapporti geologici. La cascata, trivellando il fondo per mezzo specialmente dei ciottoli rotati con moto vorticoso violentissimo, scalzando la base delle rupi da cui precipita, e costringendole infine a scoscendere, si arretra continuamente. Incisa a questo modo la roccia, resta una gora. Se la roccia, da cui precipita la cascata, fosse per avventura una diga, che sostiene un bacino interno, verrà il momento, in cui, distrutta la diga, esso bacino rimanga asciutto. Potrebbersi così spiegare i sedimenti lacustri, rimasti in secco anche in epoche recenti, senza che vi abbia indizio di forti sconvolgimenti. Potrebbe darsi del pari che un bacino lacustre si trovasse di repente in communicazione col mare, e avvenisse una miscela dei diversi prodotti.

205. Il Niagara, uscendo dal lago Erié, raggiunge il lago Ontario, inferiore al primo di 100m, mediante il famoso salto di 50m. La forza della cascata, giovata dalla facile erosione del sottostrato argilloso, è causa di un rapido arretramento dell'altipiano onde il fiume precipita. Continuando

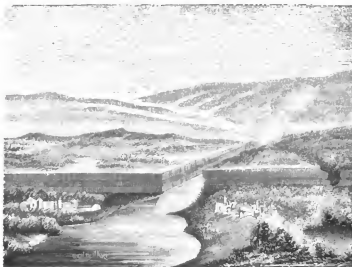



Fig. 14. Veduta del Niagara.

il regresso in ragione di oltre un metro all'anno, giorno verrà che l'Erié si vuoti totalmente, restandone asciutti i secolari depositi. Il fenomeno esigerebbe ancora, per avverarsi, circa 300 secoli; ma si avvererebbe. Così vogliono gli autori del *Rapporto sopra le condizioni del Missisipi*, che lo smisurato bacino di questo fiume, al dissopra del confluente dell'Ohio, fosse un lago, vuotatosi per l'erosione di una diga naturale, di cui rimangono vestigia evidenti.

CAPITOLO VII.

DELLA SEDIMENTAZIONE DETRITICA.

206. Tutte le correnti, salvo accidentali soste entro i bacini lacustri, o il perdersi talvolta in un Caspio, finiscono al mare, e vi portano la loro rapina. Il mare!..... Ecco il grande agente tellurico, che estende i suoi dominî a quasi $^3/_4$ della superficie del globo! Ecco la sede di un immenso lavoro di riparazione, opposto a quello di universale demolizione, nel quale trovammo congiurate l'atmosfera e le correnti di terra. Il mare è la gran vulva ove, fin dal principio, si generarono le terre. I continenti attuali sono l'ultimo de' suoi portati: ma essi cadono a brani, e procedono rapidamente verso la propria distruzione. Il mare è però di bel nuovo in gestazione, e già possiamo scoprirvi in germe i continenti che saranno forse sostituiti ai nostri.

Il legame dei fatti ci porta a studiare anzi tutto questo lavoro di riparazione, lasciando per ora da parte gli altri fenomeni, per cui il mare rappresenta una parte così importante nella economia del globo. Il fenomeno di cui ci occupiamo ora è quello della sedimentazione, anzi di un solo modo di essa, quello della *sedimentazione detritica*, alla quale le correnti di terra prestano così enorme tributo di materiale.

207. La *sedimentazione* consiste nella deposizione e nella distribuzione delle materie sul fondo di un bacino acqueo qualunque, in forma di *depositi* o *strati* che si sovrappongono. La dejezione dei fiumi è già un fenomeno di sedimentazione: ma sedimentari si chiamano di preferenza i depositi che avvengono in seno ai bacini acquei, ai laghi e ai mari. Ciò che diremo della sedimentazione marina, si intenda detto in genere della sedimentazione lacustre, salvo il distinguere a tempo e luogo ciò che dipende dalle condizioni speciali, per cui sono distinti non solo i laghi dai mari, ma anche i mari fra loro. Dicevamo poi di non volerci ora occupare che della sedimentazione detritica, la quale riflette unicamente l'azione meccanica, esercitata dalle acque sui materiali, che trovinsi, per qualunque ragione, in loro balía. Da questa azione meccanica hanno origine i *sedimenti* o

depositi detritici, da distinguersi affatto da quelli che si ripetono dalla attività chimica dell'acqua, o dalle forze organiche, o da qualunque altra causa.

208. Sarebbero infatti cinque le fonti principali da cui derivano al mare le materie sedimentari: 1.° le correnti di terra; 2.° l'azione degradatrice delle onde; 3.° gli organismi; 4.° l'evaporazione e altre cause fisiche e chimiche, per cui possono deporsi le sostanze, che l'acqua tien sciolte in sè stessa; 5.° le immediate dejezioni vulcaniche. Noi consideriamo ora le prime due soltanto. Ciò che diremo però riguarda anche i materiali derivati dalle altre fonti, i quali, se ci daranno argomento di studî speciali riflettenti la loro origine, cadono sotto la legge commune dei detriti, dall'istante che sono sottomessi all'azione meccanica delle onde.

209. Per rapporto alla quantità di detrito, ha un valore ben diverso l'azione delle correnti di terra da quella immediata del mare. D'Orbigny, dividendo in 16 parti il totale dei depositi marini, ne assegna $^4/_{16}$ ai fiumi, e $^{10}/_{16}$ alla immediata erosione delle coste, per virtù delle onde, riserbando gli altri $^2/_{16}$ agli esseri organici. Si può credere che il calcolo non erri lungi dal vero, quando si considerino gli enormi tratti di costa soggetti all'immediata percossa delle onde. Sopra 11,000 chilometri, che l'America meridionale presenta alle furie dell'Atlantico, tre fiumi soltanto recano al mare un tributo calcolabile; l'Orenoco, il Rio delle Amazzoni, e la Plata. Lungo gli 800 chilometri, che lo stesso continente abbandona indifesi all'Oceano Pacifico, non mettono foce in mare altri fiumi, che il Rio Guayaquil e il Rio Biobio, i quali, dice D'Orbigny, recano al mare un tributo che uguaglia all'incirca quello della Senna.

210. L'azione meccanica delle onde si esercita sul fondo e sulle sponde. L'azione sul fondo è naturalmente limitata alle piccole profondità. Durante le tempeste il moto delle onde non si fa sentire che a circa 30 metri di profondità. Si parla di una tempesta all'isola Borbone, la cui azione si sarebbe spinta a 188 metri dalla superficie. Ma questo e simili casi non possono essere che effetti eccezionali di quei mostruosi cicloni, i quali sono già essi modesimi una eccezione nell'ordine dello tempeste. Ugualmente eccezionale deve ritenersi il caso di quei massi di 13 metri di spessore, che Maury ci narra sradicati dal fondo del maro delle Antille dalla rabbia delle onde. Lasciate le eccezioni, può ritenersi che la cifra da noi data di 30 metri segni, in regola generale, il *maximum* di profondità, a cui può spingersi normalmente l'azione meccanica delle onde.

211. Prego bene a riflettere pertanto quanto sia limitata, sotto questo rapporto, l'azione meccanica delle onde. A pochi metri di profondità essa è nulla a tempo ordinario: a 40, 50 metri poi, può dirsi che il fondo marino

goda di una perfetta immobilità, di un riposo imperturbato. In altre parole, l'azione erosiva delle onde non si esercita normalmente che su quegli spazi che si chiamano bassi fondi nel senso stretto della parola.

212. Ma anche su questi bassi fondi l'azione meccanica del mare è limitatissima: si riduce a un semplice *rimestamento del fondo*. Badisi bene anche a questo vero, perchè le conclusioni che ne deriveranno alla geologia stratigrafica sono di un'importanza immensa. Pigliate un bacino, in cui siasi formato un sedimento, p. es. un letto di sabbia o di fango, che ricopra il fondo dello stesso bacino. Agitate quell'acqua, in guisa che tutto si rimescoli, o il sedimento si sommova, e divenga un solo impasto coll'acqua. Lasciato ora il bacino in riposo; il sedimento si forma di nuovo: agitate l'acqua una seconda volta; il sedimento è di nuovo sommosso, poi si deporrà di nuovo. E così via via, le cento, le mille volte. Il sedimento distrutto e rifatto le mille volte non avrà perduto nè guadagnato un millimetro di spessore. Avrete dunque compreso, come, per l'azione del mare sul fondo, non si creino nè si accrescano i sedimenti. Potrà il mare, che trovi p. es. un banco a poca profondità, sommoverlo, e disperderne all'ingiro il materiale, creando, col sedimento distrutto, un nuovo sedimento. Ma questo avverrà soltanto finchè il fondo, su cui sorge quel banco, sia disceso alla profondità che abbiam detto di 30 metri. Poi basta; il mare non ci potrà più nulla. Supponete dunque che il mare ricoprisse la terra, con una profondità almeno di 30 metri: nessun sedimento detritico vi sarebbe più oltre possibile. Come mai vi furono dei geologi i quali sostennero, che il mare in certe epoche ricopriva tutta la terra, mentre contano poi formati nella stessa epoca dei sedimenti detritici della potenza di migliaja di metri[1]?

213. Perchè si formino dei sedimenti detritici in mare, bisogna che i fiumi gliene portino gli elementi, o che il mare vada egli stesso a pigliarseli: bisogna insomma che ci sieno terre. La *sedimentazione detritica* è quindi, più che altro, fenomeno costiero: le immensità del libero Oceano gli rimangono straniere.

L'azione sulle sponde varia: 1.° a seconda della forza delle onde, che fur viste a Stromboli soverchiare uno scoglio alto 100 metri; 2.° a norma della disposizione degli strati sulle coste; resistendo assai gli strati inclinati verso il mare, e prestandosi facilmente all'erosione quelli che presentano all'onda le loro connettiture, o perchè orizzontali, o perchè inclinati

[1] La questione sarà trattata a suo tempo. Potrebbersi supporre dei bassi fondi, alla portata delle onde, i quali si mantengano, pur demolendosi, continuamente allo stesso livello, per un continuo sollevamento. Ma per sostenere l'ipotesi, bisognerebbe crearne mille. Tutta la terra ci presenta del resto questo fatto, che i sedimenti detritici hanno origine dalla degradazione delle terre.

verso l'interno delle terre; 3.° a seconda della natura più o meno erodibile della roccia. Si applichi quanto s'è osservato per le correnti in proposito.

214. Per l'azione erosiva dell'oude veggonsi le coste rocciose, scalzate alla base scoscendere, come la punta di Châtelaillon [1], che in 21 anni fu arretrata per ben 200^m; scavati caverne e seni, come la Caverna di Fingall nell' isola basaltica di Staffa; ridotte le isole a perigliosi scogli, come ne son prova le bizzarre rupi granitiche di Hillswick nello Shetland; abbattute e tagliate le pareti rocciose, come avvenne della scogliera calcarea, che proteggeva il villaggio di Maters nella Scozia, con rovina del villaggio stesso; invase le terre e ridotte a seni marini, come quando fu distrutto Dunwick, città e porto della Brettagna, ecc. De'brani, che il mare strappa alla terra, che ne fa egli? Quello che stiam per dire, riguardo al detrito proveniente dalla erosione immediata delle coste, vale pel detrito di qualunque provenienza, anche per quello che recano i fiumi, salve le specialità, di cui ci occuperemo più tardi.

Fig. 15. Punta di Châtelailloo (Chareote-Iaféri॰ ure).

215. Prendiamo, come esempio di passaggio dalla distribuzione originaria a quella che ha luogo per l'azione conseguente del mare, il deposito in forma di *talus*, che si accumula per effetto di rapida erosione e conseguente scoscendimento, a' piè d'una rupe battuta dal mare, come è il caso della punta di Châtelaillon testè citata (fig. 15). I massi saranno a poco a poco erosi e trasformati in ciottoli; questi, più facilmente mossi dall'onda, si trasformeranno in ghiaje; le ghiaje, in sabbia e fanghiglia. Contemporaneamente a questo passaggio dei materiali d'una ad altra forma, avviene la loro distribuzione: poichè è troppo evidente che, sotto l'identica azione che tende a spostare

[1] La città di Châtelailloo esisteva ancora nel 1780. Durante la bassa marea si veggono ancora, a due chilometri dal lido, dei ruderi testimoni dell'esistenza e della distruzioοe di qoella città. Un forte, costrutto sotto il regno di Napoleooe I soll'altura della costa, trovavasi oel 1825 a più di 200 metri dal lido. Nell'ottobre del 1846 era caduto già per metà io mare, colle rupi che gli servivano di base. Queste aotizie e la fig. 15 sono tolte dall' opera di A. d'Orbigny *Cours élém. de paléont. et géol. stratigr.* Vol. I., pag. 74.

i diversi elementi, questi le ubbidiranno tanto più facilmente quanto meno potranno opporle di resistenza, quanto minori saranno cioè il loro peso e il loro volume. Tale distribuzione avverrà in modo analogo a quello che abbiamo osservato per la distribuzione del detrito torrenziale lungo il corso delle correnti. Nè altro che una corrente è ciascun'onda, per rapporto al detrito marino. Ciò che si è detto dei grossolani detriti di un *talus* d'erosione, si applichi ai detriti in genere, qualunque ne sia l'origine.

216. Per l'effetto stesso della distribuzione del detrito, a seconda del peso e del volume, avremo delle spiaggie *ghiajose*, *sabbiose* o *fangose*. Per intendere ciò che passiamo a dire, si rifletta, che i materiali mobili di una spiaggia sono in primo luogo di diversa natura, in secondo luogo sottoposti a diverse forze. Per ciò che riguarda la diversa natura, si badi, che da lei dipendono il più o men rapido passaggio da una ad altra forma, e l'indolo del prodotto della triturazione. I ciottoli calcareo-argillosi, p. es., saranno più presto erosi che i ciottoli quarzosi: quelli daranno origine a impalpabili fanghiglie, questi a finissime sabbie.

217. Quanto alle diverse forze a cui sono sottoposti i materiali detritici, chi conosca l'indole dell'onda intenderà tosto: 1.° che un ciottolo è soggetto alternativamente a due forze, che lo spingono in direzione opposta: l'una verso il lido, quando l'onda si avanza; l'altra verso il centro del bacino, quando l'onda di ritorno si arretra. A questo moto di va-e-vieni si deve la forma discoidale, caratteristica dei ciottoli e delle ghiaje lacustri e marine, ben distinta dalla forma elissoidale, che caratterizza le ghiaje e i ciottoli fluviali; 2.° che delle due forze la prevalente è quella che spinge il ciottolo verso il lido; 3.° che la forza più debole è però coadjuvata dalla legge di gravità, per cui un corpo in moto, scivola facilmente sovra un piano inclinato, mentre la forza che spinge verso il lido, ha un pendio da superare.

218. Ciò posto, si potrà, con facile applicazione, intendere come su un dato lido non potranno essere spinti che i materiali d'un dato volume e fino a un dato punto; come certi materiali di un dato volume vi rimarranno, mentre altri saranno, per così dire, riassorbiti: come infine si formeranno banchi di ghiaja, di sabbia, di fango, con mille accidenti diversi, che dipendono dal vario sviluppo delle diverse forze, dalle condizioni orografiche del lido, dal pendío del fondo, o da altre circostanze. È, p. es., un fatto che si verifica ovunque, anche sulle spiaggie dei nostri laghi, che cioè, prima di approdare ad un lido ghiajoso, si osserva il fondo dichiaratamente sabbioso. Ciò sembra in contraddizione con uno dei dettati più elementari della teorica delle correnti, alle quali paragoniamo le onde. Non dovrebbero le sabbie essere spinte più innanzi sul lido, e

quindi precedere le ghiaje, invece di trovarsi arretrate verso l'interno del bacino? Le precedono difatti; ma, come più leggere, vengono riassorbite dall'onda regrediente, che lascia invece le ghiaje, le quali le vanno debitrici di quella lavatura, di quella nitidezza, che caratterizza le ghiaje dei littorali. Il lago di Garda, anche in ciò simile al mare, può citarsi come tipo tanto per tale disposizione dei materiali, quanto per la forma delle sue ghiaje. Veniamo ora ai fenomeni parziali più interessanti che si verificano sulle diverse spiaggie.

219. Il fenomeno più interessante, cui dà luogo l'azione traslatrice dell'onda sovra una spiaggia ghiajosa, è quello dell'*apparato littorale*. — Suppongasi un lido debolmente inclinato. Durante una tempesta, l'onda, detta *lama di fondo*, scopasi innanzi con impeto verso il lido i materiali levati da una certa profondità. Quanto più l'onda si avanza verso il lido, altrettanto diminuisce di forza. Ad un certo punto dovrà abbandonare i materiali più grossi, e scaricatasene, passar oltre. In quel punto s'è già formato un rilievo, una specie di cordone. I materiali portati dall'onda successiva, trovano già un ostacolo; si arrestano, e il rilievo s'ingrossa. L'ingrossamento del rilievo aumenta in quel punto il pendio del lido: le onde successive non possono passar oltre che con detriti sempre più fini; il restante tutto si arresta al primo rilievo, che si leva, formando un *montone* o *banco*, capace di soverchiare il pelo ordinario dell'acqua a tal punto da non essere soverchiato che dalle più straordinarie tempeste, e consolidandosi talora in guisa, da opporre loro la resistenza di una diga. Tali banchi si formeranno primieramente sul lido propriamente detto, anche dove è molto sensibile il pendio, attingendo un'altezza proporzionata alla forza delle onde: Perciò questi banchi affettano la forma di una gradinata, ciascun gradino corrispondendo ad una data tempesta, o a un dato grado di violenza della stessa tempesta. Colle debite proporzioni, i lidi lacustri non si diversificano in ciò dai lidi marini. Il lago di Garda ne è una prova. Osservai di tali banchi molto elevati sulla spiaggia da Salò a San Felice. Un banco sulla spiaggia orientale della penisola di Sirmione era composto di cinque gradini, l'ultimo dei quali, formato di piastrello del diametro da 5 a 20 centimetri, si elevava a forse 8 metri di distanza dal lago. Simili banchi si formeranno anche prima di giungere al lido, ed anche a gran lontananza, ove il pendio è minimo. Per intendere ciò, si rifletta, che la forza dell'onda è proporzionale alla sua altezza, e che tale altezza va diminuendo, quanto più si approssima al lido; sicchè, anche prima di toccarlo, l'onda può essere così stremata, da abbandonare i materiali che esportava, dando origine a un *montone*.

220. I montoni allineati e congiunti costituiscono il *cordone littorale*.

Se il cordone littorale si arresta a certa distanza dal lido, formerassi nna laguna interclusa. Tali sono le lagune di Venezia, di Comacchio, ecc. Se la laguna è, per la forma sinnosa del lido e per la continuità del cordone, totalmente separata dal mare, si trasformerà facilmente in lago salmastro o d'acqua dolce. Un esempio ne offre il Chesil-Banck, che rinnisce l'Inghilterra all'isola di Portland. Ciò avverrà tanto più facilmente, quando vi sbocchi un fiume di poca portata, che non valga ad elidere la forza del mare, e a produrre i parziali fenomeni che hanno luogo alle foci dei grandi fiumi.

Barre di ghiaia o *di sabbia*, chiamansi a preferenza i montoni in formazione, che non emersero ancora.

221. Il complesso dei banchi, dei montoni, delle lagune, ecc., costituisce ciò che si chiama *apparato littorale*. Splendidi apparati littorali si formano così, col concorso dei rispettivi fiumi, alle foci del Po, del Reno, ecc.

Interessantissimi sono i cordoni a nord-ovest di Danzica, nel Baltico, e i banchi che uniscono il monte Argentaro alle coste della Toscana, ecc. Più di tutti meraviglioso è l'apparato littorale che cinge il golfo del Messico, costituito da cordoni e lagune quasi non mai interrotti, che svolgonsi su una linea circolare di ben 400 miriametri.

222. I fenomeni, onde risulta l'apparato littorale, si verificano ugualmente per le spiaggie ghiajose, come per lo sabbiose. Osservo però che, se le spiaggie sono esclusivamente sabbiose, e le sabbie incoerenti, e mancanti affatto di ogni elemento che le rassodi o conglutini, non si avverano le principali condizioni che, secondo l'esposta teorica, si richieggono alla formazione degli apparati littorali. L'onda non potrà forse allora che ergere ed adequare alternatamente, formando un piano sabbioso a morbidissimo pendio. Le spiaggie dell'Adriatico dal lato dell'Italia possono offrire diversi esempî di tale disposizione. Sceglierò come tipo la spiaggia di Rimini. Il lido non accenna quasi ad alcuna irregolarità, è dolcissimo, formato di sabbia incoerente che, sparsa di reliquie organiche, e costituendo certamente un deposito di enorme spessore, può dare spiegazione della formazione di quegli stessi smisurati depositi di sabbie subapennine, a cui spese si va formando il lido attuale.

223. Insisto di nuovo sul fatto, che la formazione dei sedimenti detritici esige la esistenza delle terre, le quali possano, per la forza erosiva delle correnti o delle onde, pagare un continuo tributo al mare di sempre nuovi detriti. Supponiamo che il mare non ricevesse più nessun nuovo tributo. Potrebbero mantenersi le spiaggie ghiajose e sabbiose? No, certo. Il mare, continuando il suo lavoro, avrebbe ridotto ben presto i massi in ghiaje, le ghiaje in sabbie, le quali diverrebbero a poco a poco impalpabili fanghiglie, e an-

drebbero a deporsi ove il mare più non arriva a disturbarle. Quando, mediante questo processo, ogni terra e ogni spiaggia fosse ridotta fondo marino, e quando ogni fondo marino fosse disceso ai limiti d'oscillazione delle onde (circa 30 metri), cesserebbe affatto il fenomeno della sedimentazione detritica. Il fenomeno stesso, lo ripetiamo, non poteva nemmeno aver principio, prima che terre e spiaggie non fossero.

224. Le spiaggie fangose, quando siano tali assolutamente, offrono delle circostanze affatto eccezionali. Le fanghiglie, qualunque ne sia l'origine, non possono formare depositi permanenti che là, dove il mare è permanentemente tranquillo; quindi o nei seni riparati, o ad una certa profondità. Nel primo caso i fanghi si accumulano assai regolarmente, riescono a colmare i seni, e a trasformarli in terra asciutta, che il facile sviluppo della vegetazione va sempre più rassodando. Nel secondo caso, danno luogo a sedimenti regolari, stratificati, dove la scienza geologica trova le migliori analogie coi terreni di sedimento a fini elementi, specialmente cogli strati argillosi e marnosi. i più abbondanti nei terreni fossiliferi. Ma, più che l'azione delle onde, influiscono sulla distribuzione delle fanghiglie le *maree* e le *correnti marine*. Diremo delle prime, le quali pigliano tanta parte anche nel fenomeno della deltazione, di cui stiamo per trattare, riserbandoci di consacrare un intero capitolo alle seconde, come ad argomento di singolare importanza.

225. Se l'attrazione dei corpi celesti non imprime dei mutamenti apprezzabili alla parte solida del globo, deve però influire apprezzabilmente sulla parte liquida, le cui molecole ubbidiscono così facilmente a ogni minimo impulso, che tenda a romperne l'equilibrio. Il corpo celeste che, per la sua vicinanza, esercita sulla massa liquida un influsso immediato e potente, è la luna. Tiene il secondo grado il sole, la cui potenza, che sarebbe assai maggiore, stante l'enormità della massa, è elisa in gran parte dalla enorme distanza. Infine dall'attrazione combinata del sole e della luna, con assai considerevole prevalenza di questa, dipendono i moti a periodo quotidiano del mare, conosciuti sotto i nomi di *alta* e *bassa marea*, di *flusso* e di *riflusso*.

226. Se il mare coprisse tutta la terra con uno strato di uguale profondità, l'alta marea consisterebbe in un turgore, in un rigonfiamento, a modo di una grande onda, distesa sul meridiano, e avente il medesimo rilievo sul punto di esso meridiano, dove è più diretta, quindi più potente la risultante delle due attrazioni. Tutta l'acqua del mare avrebbe una tendenza a radunarsi in quel punto, e l'onda che ne risulterebbe, seguendo il moto apparente dei due astri, costituirebbe una corrente continua, circolante attorno al globo, diretta da est a ovest. Le molecole acquee però, che concorrono a formare quella corrente, sarebbero sollecitate da due

forze, una che le trae da est a ovest, ovvero da ovest a est, secondo che si trovano pinttosto a est che a ovest del meridiano di alta marea; l'altra che le richiama verso il punto di massima attrazione, che si trova nella parte media del meridiano suddetto. Dovrebbero quindi le molecolo a nord di quel punto prendere una direzione più o meno obliqua, seguendo, in vece di una linea est-ovest, una linea nord-est sud-ovest, se si trovano a est del meridiano, e invece di una linea ovest-est, una linea nord-ovest sud-est, se trovansi ad ovest del citato meridiano. Viceversa, le molecole a sud seguirebbero una linea da sud-est a nord-ovest se si trovano a est, e una linea da sud-ovest a nord-est se si trovano ad ovest del meridiano. In quest'ipotesi adunque il flusso sarebbe costituito da un gran sistema di correnti, affluenti da tutti i punti dell'orizzonte verso un punto di un dato meridiano, circolante intorno al globo. Il riflusso non sarebbe che l'identico sistema di correnti che rifanno il loro cammino, irradiandosi dal punto di massima attraziono. Siccome, come risulta facilmente da quanto è esposto, ogni molecola di acqua che si trovi in un punto è, nel periodo di 24 ore, attratta alternatamente prima a est, quindi a ovest, formando una corrento che duo volte si muove da est a ovest, e due volte da ovest a est; il fenomeno delle maree si ripeterà due volte nel periodo di un giorno in qualunque punto del mare: avremo cioè in tutti i punti due alte e due basse maree.

227. Questo è il fenomeno delle maree, considerato ipoteticamente nel suo sistema più elementare. Ma si rompa la continuità del mare, si rendano disuguali le sue profondità, appajano i continenti, sia ripartito il mare in diversi grandi bacini, communicanti mediante un sistema di strozzature più o meno anguste; ognun vede come, salvi i principî che reggono elementarmente le maroe, le correnti, che ne risultano, dovranno osserne potentemente modificate. È appunto dal momento che si considerano le maree in rapporto colla distribuzione attuale dello terre e dei mari, che le maree stesse acquistano una grande importanza geologica.

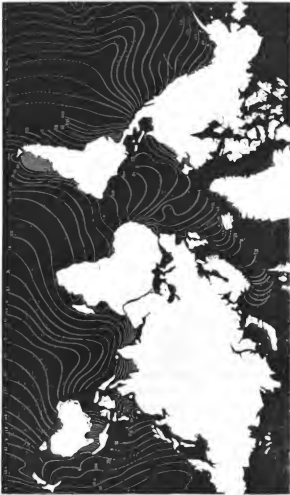
228. Ciò diciamo sopratutto per rapporto al fenomeno, che noi stiamo ora particolarmente considerando, cioè per rapporto alla sedimentazione detritica, la quale, come abbiamo detto, non può aver luogo se non in quanto esistano delle terre. Questo esistendo, lo correnti di marea influiscono principalmonte sulla distribuzione dei materiali, a norma delle condizioni diverse ad esso imposte dalla esistenza e dalla forma dello terre, e inoltre dallo irregolarità dei fondi marini. La geografia fisica però ci mostra col fatto, ciò cho poteva dedursi a priori, che le corronti di marea seguono, nel sistema delle loro modificazioni, lo leggi stesse delle correnti di terra. Le correnti di marea, o per meglio dire i mari, messi in movimento dall'at-

trazione dei due astri, si trasformano precisamente in altrettanti fiumi, a cui le terre servono di sponde, e il fondo marino di letto. Applicando alle correnti di marea le leggi delle correnti di terra, una volta che si conoscono le condizioni delle sponde e del letto, si potranno fissare a priori tutti gli effetti che le correnti stesse devono produrre.

229. Il tratto più fondamentale, nel sistema attuale della distribuzione delle terre e dei mari in rapporto alle maree, è la grande divisione della superficie terrestre in due emisferi, l'uno di terre, come l'abbiamo già chiamato altre volte, l'altro di mari. Siccome l'effetto dell'attrazione, ossia lo spostamento del liquido, è proporzionale alla massa del liquido stesso che viene attratto, è naturale che l'emisfero australe avrà una decisa prevalenza sul boreale. La massa cioè delle acque che viene tratta verso l'emisfero nord, sarà molto maggiore di quella che dall'emisfero nord viene spinta verso l'emisfero sud. Supponiamo che il punto di massima attrazione sia precisamente sull'equatore e su uno dei meridiani che percorrono l'Atlantico. Il flusso delle acque, che è chiamato dal sud Atlantico e dall'oceano antartico su quel punto dell'equatore, sarà molto maggiore di quello, che, sul punto stesso, è chiamato dal nord Atlantico. Alla differenza d'estensione dei due mari aggiungasi, che il flusso antartico, venendo da un libero mare, sarà anche più veloce, mentre i continenti, le isole, i capi, gli stretti devono, secondo le leggi che governano le correnti, ritardare il flusso del nord Atlantico. Ecco come necessariamente il flusso antartico avrà una decisa prevalenza sul flusso artico. Non potendo il flusso artico far equilibrio all'antartico, questo invaderà i confini del primo, e avremo in ultima analisi, in luogo di due correnti che si incontrano sull'equatore, una sola corrente che percorre i due emisferi da sud a nord.

230. È in questo senso, io credo, che il signor Whewell, celebre pei suoi studi sulle maree, potè dire che l'oceano Atlantico è la culla delle maree. Quando si considera, che l'emisfero australe è un emisfero di mari, e il boreale un emisfero di terre, dobbiamo già ammettere *a priori* che le maree vengono dal primo, e devono portarsi sul secondo. Che ciò avvenga di fatto lo mostrano i più recenti studi. Una delle ultime carte dell'Atlante geografico di Stieler presenta graficamente il progresso delle maree nei due emisferi, mediante le linee *cotidali* o *isorachiche*, le linee cioè di contemporaneo flusso nei diversi oceani. Queste linee rappresentano per ogni singolo mare la fronte della corrente, che progredisce d'ora in ora, sicchè la loro successione, indicata dai rispettivi numeri orarî, presenta graficamente la progressione della corrente. Osservando quelle carte, che la figura 16 riproduce, unificate in un planisfero, l'idea che uno si forma del flusso è quella di un movimento da sud a nord, per cui l'oceano antartico,

essiano gli oceani a sud dell' equatore, fluiscono, a modo di mostruosa corrente, verso gli oceani artici. Il fenomeno delle maree, considerato nella

Fig. 16 Sistema generale delle maree nei due emisferi.

sua universalità, consiste dunque in un gran movimento di va-e-vieni, per cui quell' immenso strato di acqua, che ricopre quasi i $^3/_4$ del globo

due volte nel periodo di 24 ore, si spinge verso nord, e due volte ritorna verso sud.

231. Se tuttavia consideriamo il fenomeno delle maree nei diversi mari, nelle diverse specialità, esso presenta un sistema complicatissimo. Noi troviamo movimenti lenti e rapidi; maree altissime e maree quasi insensibili; correnti di maree che segnono direzioni diverse od anche opposte, fino al punto di determinare degli incontri e dei cozzi. Tutto però si spiega facilmente, applicando alle correnti di marea i principî dedotti dallo studio delle correnti terrestri. La marea è come un gran fiume, vasto quanto è vasto il mare, che scorre sopra un letto estremamente irregolare, che incontra tanti ostacoli quanti sono i continenti e le isole, che è costretta a suddividersi, incanalandosi nelle maniche e negli stretti, urtando contro i capi, penetrando nelle strozzature, dilatandosi nei seni. Pigliando di mira specialmente il nord Atlantico, le cui sponde sono così frastagliate, e che si trova in comunicazione con tanti bacini intercontinentali, una volta che assuma l'indole di una corrente, dobbiamo immaginarcelo divenuto quasi fiume, che scorra sopra un gran letto tutto irto di scogli, onde un turbinio di correnti diverse ed opposte, rigurgiti senza numero, luoghi tranquilli e luoghi tempestosi, senza però che tutto questo impedisca l' andamento generale del fiume. Troveremo piuttosto che il fenomeno delle maree è divenuto un fenomeno che influisce direttamente sul regime delle terre, o più propriamente delle coste, le quali si trovano ogni giorno esposte all'azione di correnti, simili a quelle che percorrono, con tanta efficacia di effetto, l'interno delle terre. Gli effetti, sia sulla erosione delle coste, sia sulla distribuzione dei materiali, cioè sulla sedimentazione detritica, sono facilmente presumibili, quando si consideri che il mare, cioè il bacino in cui le correnti si perdono, è divenuto esso medesimo un labirinto di correnti, di cui i fiumi sono confluenti.

232. Vediamo ora brevemente come alle correnti di maree siano applicabili i principali canoni delle correnti di terra, per cui riesca più facile assegnare una ragione agli effetti prodotti dalle stesse maree, per rapporto alla *sedimentazione detritica*, che possiamo anche dire *sedimentazione littorale.*

233. Un primo canone è quello che la velocità di una corrente è in ragione diretta dell'altezza della colonna acquea; in altre parole, della profondità della corrente. Il canone si verifica perfettamente per le correnti di marea, la cui velocità cresce colla profondità del mare. Si calcola che le maree percorrono 25 chilometri all'ora, se la profondità è di 10 metri, di 96 se è di 100. Nei mari, la cui profondità è fin di 8000 metri, le correnti di marea raggiungono l'enorme velocità di 850 chilometri all'ora.

234. Un secondo canone è quello che, prescindendo dalle irregolarità del letto, la velocità cresce dalle sponde al mezzo della corrente, e quindi la corrente si avanza, segnando una linea parabolica, ossia una linea ogivale, come è spiegato al § 179. Ora le linee *cotidali* o *isorachiche*, come lo chiama Whewell, ossia le linee di avanzamento sincronico del flusso nei diversi mari, sono appunto linee ogivali, le quali mostrano come la marea è una corrente, ritardata dall'attrito delle sponde, mentre più veloce, perchè più libera, si avanza nel mezzo. Le carte di Whewell mettono in luce in un modo meraviglioso il fenomeno. La figura 16 mostra infatti come la marea che si avanza dall'oceano antartico verso gli oceani artici, si insinua tra i continenti, quasi in altrettante valli. Tre sistemi di linee ogivali descrivono benissimo l'avanzarsi delle tre grandi fiumane; la prima, che è la più distinta, nell'Atlantico tra il nuovo e l'antico continente; la seconda nell'oceano Indiano, tra l'Africa e l'Australia colle isole e penisole asiatiche; la terza nell'oceano Pacifico, tra l'Australia e il continente americano. Il fenomeno è poi sensibilissimo nei mari parziali, e principalmente negli stretti, ove l'angustia dei canali determina delle curve ogivali arditissime. Basti ad esempio la carta delle linee cotidali delle isole Britanniche, pubblicata da Whewell, che descrive la progressione del flusso nella Manica e nel canale d'Irlanda. Nell'uno e nell'altro dei due stretti la marea entra contemporaneamente, come mostra la figura 17, tanto da sud come da nord, formando due sistemi di linee ogivali contrarî, che vengono a incontrarsi coi rispettivi vertici. L'incontro delle due correnti nella Manica avviene appena a nord del passo di Calais, quindi alle foci del Tamigi.

Fig. 17. Linee cotidali delle maree nella Manica e nel canale d'Irlanda.

235. Un terzo canone della teorica delle correnti è quello, che un ostacolo a valle porta un rigurgito, ossia un rigonfiamento, a monte. Questo ca-

none basta da solo a dar ragione della infinita variabilità dell'altezza delle maree misurate nei diversi luoghi. Si osservi infatti, e si troverà che l'altezza della marea è tanto minore quanto la corrente è più libera, e tanto maggiore quanto è più angustiata, quanto maggiori cioè sono gli ostacoli in cui si abbatte nel suo corso. L'altezza della marea, che si calcola in media di due piedi nell'oceano Pacifico, si leva da 3 a 10 piedi nell'Atlantico, a 45 nella Manica, a 50 nel canale di Bristol, e fino a 70 nella baja di Fundy (Nuova Scozia). Ben inteso che il rigonfiamento della marea si verifica precisamente all'incontro dell'ostacolo, cioè a monte di esso, considerata la marea come una corrente ordinaria. Le maggiori maree nella Manica si verificano a ovest dei Capi, delle prominenze, delle strozzature di quello stretto. La massima altezza, p. es. quella di 45 piedi, si verifica a San Malo, dove la marea, procedendo da ovest, si trova d'un tratto sbarrata dalla penisola normanna, che termina col Capo della Hague.

236. Un movimento periodico di tutti i mari, quale l'abbiamo descritto, non può mancare di esercitare una grande influenza nella economia tellurica. Per rapporto principalmente alla geologia si consideri questo solo fatto, che le maree creano, per dir così, in tutte le regioni littorali del globo, dei terreni neutri, il quali sono alternatamente superficie di terre e fondi di mare. Così noi vediamo vasti lidi trasformarsi in golfi, città interne trovarsi di un tratto in riva al mare, e pezzi di continente cambiarsi in isole. Nella baja di Saint-Michel, sulle coste di Normandia, il flusso si interna 10 chilometri, coprendo una estensione di 250 chilometri quadrati. Io credo che la scienza sia ben lungi ancora da un equo apprezzamento degli effetti delle maree, specialmente nei loro rapporti coi fenomeni geologici. Noi diremo qualche parola dei più immediati.

237. Primieramente le correnti di marea non devono essere scarse di effetti meccanici. Correnti costiere, colla velocità di 20 chilometri all'ora, quale si verifica sulle coste della Scozia, devono avere la forza di trasportare materiali di un volume molto rispettabile. Si osserva infatti come la marea, colla sola velocità di uno a tre miglia all'ora, vale a smuovere le fanghiglie e le sabbie. Talvolta l'onda di marea si propaga colla violenza della tempesta. Quei *ras* o *mascaret* così spettacolosi, che si avanzano formidabili entro le baje e gli estuarî soggetti a forti maree, non sono appunto che correnti di marea, così veloci e così gonfie, che la loro fronte si avanza sul liquido piano al modo stesso che il fiotto della tempesta si avanza e rotola sul lido. Alle foci del Rio delle Amazzoni, p. es., dicesi che l'alta marea, a stagione propizia, si presenti in forma di tre grandi onde, alte da 10 a 15 metri, che si avanzano a foggia di muraglie rotanti. Ma non facciamo troppo conto di questi fenomeni straordinarî, valutando assai

più quell'azione lenta, continua, che le maree esercitano su tutti i littorali, e su tutti i bassi fondi, ove dev' essere enorme l' effetto accumulato coi secoli.

238. Merita speciale riflesso l'influenza che può esercitare la marea, non per sè sola, ma addizionando la sua potenza erosiva alla potenza erosiva della tempesta. Abbiamo già potuto formarci un' idea della violenza, con cui le onde, sollevate dai venti e specialmente dai cicloni, assalgono le coste e le demoliscono. Immaginate che, nel furore della tempesta, le onde, già formidabili, venissero, per una causa estranea qualunque, ad alzarsi 10 o 15 metri di più, acquistando inoltre la forza impulsiva di una corrente. Eppure questo avviene ogniqualvolta l'alta marea si determini in un punto agitato dalla tempesta. Gli annali dei grandi disastri, che, a intervalli di secoli, avvennero sulle coste, dicono come quella straordinaria violenza del mare dipenda dalla coincidenza in un dato punto di una tempesta con una delle massime maree. È allora che i cordoni littorali, i quali da secoli difendevano le lagune dalla furia del mare, vennero spezzati: è allora che villaggi e città, che si tenevano pienamente sicuri, si trovarono d' un tratto preda delle onde.

239. Nei rapporti geologici però gli effetti più importanti sono quelli che risultano dall'associazione delle correnti di marea colle correnti di terra, il cui incontro avviene entro i dominî degli estuarî. L' incontro di due poderose correnti, che camminano in senso contrario l' una all' altra, di due correnti delle quali l'una è dolce e l'altra salata, non può non avere una grande influenza e meccanicamente sulla distribuzione dei detriti, cioè sul fenomeno della *deltazione*, e fisiologicamente, modificandosi la natura delle acque, sugli organismi destinati a tal genere di ambienti.

240. Il fenomeno della *deltazione* va considerato nel suo complesso, quindi anche nella natura fisica dei depositi e nella distribuzione degli organismi che vi possono appartenere. In questo complesso la marea non figura che come altro degli agenti. Basti dunque fissare per ora i seguenti punti, da cui si desume quale sia la parte che rappresenta la marea nel fenomeno complicatissimo della deltazione, di cui stiamo per occuparci espressamente.

I. Le maree, come correnti, possono per sè erodere, trasportare, interrire.

II. L'azione meccanica delle maree è alternatamente contraria o favorevole alla corrente di terra, la cui azione meccanica deve essere calcolata coll'addizione e colla sottrazione di quella delle maree.

III. Il flusso, alzando il livello del mare, e determinando una corrente contraria alla corrente di terra, determina un rigurgito e un tempo-

ranco arresto di questa. Il rigurgito faciliterà i *salti* e le *rotte* nel tronco inferiore della corrente.

IV. Lo spazio, cioè il fondo, che si trova fra i limiti dell'alta e della bassa marea, sarà alternatamente occupato ora dall'acqua dolce, ora dalla salsa.

V. Siccome l'acqua dolce galleggia sulla salsa, il tronco della corrente di terra percorso dal flusso si convertirà temporaneamente in un lago di acqua dolce, che ricopre un braccio di mare.

CAPITOLO VIII.

DELLA FORMAZIONE DEI DELTA.

241. Visto quale sia in complesso l'azione del mare sulle coste, in quanto è mosso dai venti, e in quanto agisce come corrente nel fenomeno delle maree, siamo in possesso dei principî necessarî per intendere il fenomeno della deltazione. Questo fenomeno, come costituisce uno dei tratti più importanti della fisica terrestre, così offre a quella parte della geologia, che tratta della formazione dei terreni sedimentarî, un gran numero di fatti, in appoggio delle più squisite deduzioni riguardo alla storia degli antichi mondi.

242. Il fenomeno della deltazione consiste nel depositarsi dei materiali detritici, trascinati dai fiumi, entro un bacino recipiente, che può essere un lago, può essere un seno di mare, o il libero oceano. Così la terra si avanza entro i confini del mare; così nuove terre di continuo si creano. Quelle nuove terre, che sono la risultante delle diverse forze agenti nel fenomeno della deltazione, tradurranno, nella forma e nella loro costituzione, l'azione diversa, l'associazione e sopratutto la prevalenza di esse forze. Le due espressioni, in cui si afferma la prevalenza della corrente sul recipiente, o del recipiente sulla corrente, sono il *delta* o l'*estuario*.

243. Prescindendo da qualunque causa, la quale possa disturbare il processo della dejezione di un fiume, non considerando cioè i *salti* e le *rotte*, e supponendo che la corrente versi in un bacino tranquillo, che non eserciti nessuna reazione; i depositi laterali alla corrente si formeranno a guisa di due argini, che si sviluppano da monte a valle, e accompagnano la corrente sino alla foce, e con lei si inoltrano in seno al bacino recipiente. Il fiume va così costruendosi una gettata, composta di due argini retti, paralleli, i quali saranno tagliati a sghembo, dall'interno all'esterno, alla loro estremità, formando, coi loro tagli divergenti, un angolo rientrante. Quest'ultimo è dovuto alla tendenza che ha l'acqua ad espandersi sui lati, appena le venga meno il sostegno delle sponde.

Questo venir meno delle sponde si avvera appunto alla foce, dove la corrente, nell'atto che libera si espande nel bacino recipiente, spinge il detrito sui lati, lo obbliga cioè a deporsi sulla diagonale tra la forza che lo porta direttamente verso il recipiente, segnendo il filo della corrente, e la normale, che lo spinge sui lati. Nella figura 18 questa gettata corrisponderebbe approssimativamente alla doppia zona, parallela alla corrente, ossia alle due liste, chiuse tra la corrente e le due linee punteggiate, e divise in tanti strati, *a*, *b*, *b'*, ecc., che rappresentano altrettanti periodi di progresso della gettata stessa. Ma il supposto non si verifica mai, per quanto la corrente sia regolare, e le servisse di recipiente il più tranquillo dei laghi. Le maree nei mari, e le onde mosse dai venti in qualunque bacino, agiscono come forza contraria alla corrente, e tendono a ricacciare il detrito verso il lido, rovesciandolo sui lati della corrente. Semplificando, abbiamo due forze: una che lavora a spingere il detrito, in forma di gettata, entro il bacino; l'altra che lo risospinge verso il lido, sui lati della corrente. O l'una o l'altra delle due forze sarà, secondo i casi, la prevalente. Se provale la prima, il detrito si avanzerà sulla linea della corrente; avremo cioè un avanzarsi della foce, in confronto dei lati. Se prevale la seconda, i lati si avanzeranno in confronto della foce. Nell'un caso e nell'altro l'interrimento presenterà la figura di un triangolo, il cui vertice è determinato da due linee di confine, convergenti alla foce. Nel primo caso però avremo un triangolo pieno, sporgente, un triangolo di terra colla base appoggiata al lido e il vertice proteso verso l'interno del bacino. Nel secondo caso avremo un triangolo vuoto, rientrante, un triangolo d'acqua, colla base a mare e il vertice a terra. La figura 18 rischiara il primo caso.

Fig. 18. Formazione di un delta.

244. La corrente, che si avanza non disturbata in mare, formerebbe la gettata bilaterale *a b* (fig. 18), che si andrebbe accrescendo coll'aggiungersi delle porzioni *b' b'' b'''*. Ma suppongasi tale la forza delle onde e della

marea, che la gettata non possa avanzarsi fino ai punti *b*, senza che il detrito, espandendosi lateralmente sulle linee *b c*, non abbia riempito gli spazî laterali *a b c*. Nell'istante che la gettata è in *b*, avrà già assunto la forma di un triangolo sporgente, inciso al vertice, composto dei due lati *b c*, o di una base immaginaria *c c*; presenterà già quindi la forma di un *delta*. Collo stesso processo, il triangolo si andrà ampliando in tutti i sensi, sempre conservando, come mostra la figura, la forma di un delta sporgente. Mettiamoci ora nel caso contrario.

245. Le maree e le onde marine la vincono sulla corrente. L'avanzamento sui lati è più rapido che alla foce. La gettata non potrà raggiungere i punti *b* (fig. 19), se il detrito non avrà riempito i triangoli *a b c*[1]. Quando dunque la gettata è in *b*, delineerà la forma di un angolo rientrante, se vuolsi, di un triangolo formato dai due lati *b c*, sopra una base immaginaria *c c*; presenterà cioè la forma di un *delta negativo*, che si andrà colle stesse leggi avanzando, come mostra la figura.

Fig. 19. Formazione di un estuario.

246. Nel supposto che le forze si bilanciassero, non vi sarebbe nè delta nè estuario: la foce e i lati, avanzandosi ugualmente, segnerebbero, colla fronte dell'interrimento, una retta.

247. I tre più grandi fiumi del globo presentano gli estremi e il medio dei tipi descritti. Il delta del Mississipì (fig. 22) è, più che altro, una grande gettata; il Rio delle Amazzoni (fig. 25) vanta l'estuario più gigantesco; il Gange (fig. 24) traduce, nell'avanzamento lineare del suo delta, l'equilibrio tra l'Oceano e una tra le più formidabili correnti.

248. Ho descritto il processo della deltazione, riducendolo a' suoi minimi elementi. Ma concorrendo in quel processo tanti elementi, tutti va-

[1] In questa figura sono conservate le stesse lettere, cogli stessi rapporti, della precedente fig. 18; ma si dovettero alquanto spostare per l'angustia degli spazi. Spero che ciò non noccia all'intelligenza.

riabili in sommo grado, il risultato dev' essere, più di quanto si possa immaginare, vario e complicato. Aggiungi, che non vi ha forse formazione terrestre che, al pari di questa dei delta, sia andata soggetta all' influenza dell' uomo. I delta sono le sedi ove si addensarono le grandi società antiche e moderne, ove crebbero le antiche e le moderne civiltà. Testimonî i grandi delta del Nilo, del Gange, del Missisipi. Siccome però l'uomo può giovarsi delle forze della natura, piegarle al suo volere, ma non distruggerle o cambiarle; così i delta tradurranno pur sempre, nei grandi tratti della loro fisonomia, quelle leggi della natura, che reggono lo sviluppo di uno de' suoi più grandi portati. Avremo sempre nei delta un prodotto, che è la risultante tra le forze normali di una corrente di terra, e le forze perturbatrici del mare, ossia in genere del bacino recipiente.

249. Le cause perturbatrici primarie, costituenti la reazione del recipiente, e dalle quali dipende principalmente la variabilità nella forma dei delta, sono: 1.° le onde sollevate dai venti; 2.° le correnti di marea. Siccome però le maree rappresentano una forza costante, la loro azione è forse più decisa che non quella della tempesta, e a loro è dovuta principalmente la varia forma dei delta, nominatamente la distinzione fondamentale in *delta* e *estuarî*.

250. Dico fondamentale questa distinzione, perchè si distinsero anche i delta in *lacustri*, *mediterranei*, *oceanici*, distinzione equivalente a quella di delta in bacini senza, con debole, con forte marea. Ma i delta lacustri e mediterranei sono i *delta* propriamente detti, o *delta positivi:* i delta oceanici sono gli *estuarî*, o *delta negativi*. Noi accetteremo praticamente l'accennata triplice distinzione, come quella che risponde alla teoria stabilita, e le coordineremo la breve rassegna che passiamo a fare delle diverse forme, o piuttosto la citazione di alcuni esempî in un argomento, in cui vale assai più la pratica che la teorica.

251. I *delta lacustri* sono quelli che presentano, in generale, più regolare la forma di un triangolo sporgente. Dove nulle o insensibili sono le maree; e relativamente assai deboli le onde, prevale l'azione della corrente di terra. Non è raro però il caso che anche il lido di un lago presenti, allo sbocco di una valida corrente, degli apparati littorali in miniatura, banchi, dune, lagune, ecc., sicchè il delta appaja modificato e deforme.

252. Ma i delta lacustri hanno una speciale importanza per alcuni effetti che dipendono dalla ordinaria angustia del bacino recipiente. Siccome le dejezioni tendono a riempirlo, così facilmente si avvererà il caso: 1.° che un lago sia in parte, od anche completamente ostrutto; 2.° che sia diviso in diversi bacini communicanti per angusti canali, o strozzature; 3.° che una parte del bacino sia convertito in stagno o laguna, la quale, a suo

tempo, passi allo stato di palude e di torbiera; 4.° che il lago in tutto o in parte si alzi di livello.

253. Il delta lacustre del Rodano può citarsi come esempio del valore quantitativo che può acquistare tal genere di formazione. Port Valais, in riva al lago di Ginevra otto secoli fa, or ne dista un miglio e mezzo. Il delta forma un piano di 7 a 8 miglia in lunghezza. Calcolando sulla profondità del lago, che è di circa metri 300, di metri 300 appunto sarebbe lo spessore del deposito disteso dal Rodano per 7 ad 8 miglia.

254. Esempî singolarissimi di strozzatura offre il lago di Como[1]. Il passo d'Adda, canale di communicazione tra il lago di Como e il lago di Mezzola (fig. 20), non è che una strozzatura prodotta dalla deltazione dell'Adda,

Fig 20. Separazione del lago di Mezzola dal lago di Como pel delta dell'Adda a Colico.

le cui dejezioni colmarono un gran seno lacustre, trasformatosi in piano paludoso (Piano di Colico) e separarono il lago di Como a sud-ovest dal lago di Mezzola a nord-est, che ne era la continuazione. I piccoli bacini al dissotto del ponte di Lecco (fig. 21), detti lago di Pescarenico, lago di Olginate, ecc., non sono che il prodotto di altrettante strozzature effettuate

[1] Nelle figure 20 e 21 le parti bianche indicano i delta, ossia le alluvioni.

dalle dejezioni di piccoli fiumi laterali, il cui breve corso e mediocre potenza sono compensati dalla rapida erosione del terreno glaciale, ammonticchiato sui fianchi delle valli, da cui quei fiumi derivano. A tali strozzature è da attribuirsi l'evidente rialzamento del livello generale del lago di Como[1].

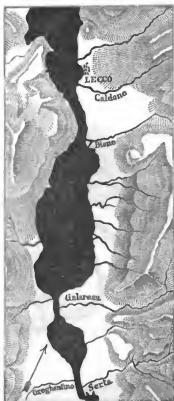



Fig. 21. Strozzature del lago di Como nel tronco a sud di Lecco.

255. La pianura paludosa e torbosa dell'Orbo (Plaine de l'Orbe), all'estremità sud-ovest del lago di Neuchâtel, non è, secondo gli studî di Jayet, che un seno terminale di esso lago, lungo 16 chilometri e largo al massimo metri 3500, colmato in parte, e in parte ridotto a paludi e torbiere, dalla azione associata dei fiumi che vi sboccano, e del lago che lo sbarrò mediante un apparato littorale affatto simile a quelli che si formano in mare alla foce di una corrente.

256. I mari mediterranei possono considerarsi praticamente, e sono anche detti communemente, mari senza maree. La marea tuttavia vi si fa sentire, e l'azione delle onde vi può essere violentissima. Se però la corrente, che vi mette foce, è abbastanza importante, sopratutto se vi abbonda la torbida, la sua azione prevale sulla reazione del mare; si forma un delta, che si avanza continuamente, benchè spesso in modo affatto irregolare. Ciò che è più caratteristico nei *delta mediterranei* è la formazione delle lagune intercluse. — Si ricordino le leggi che governano la formazione dei

[1] Le strozzature debbono determinare un rialzamento dei laghi, per la nota legge che un ostacolo a valle determina un riflusso, ossia un aumento della piena a monte. Il rialzamento del livello medio del lago di Como, determinato specialmente dalle strozzature del tronco, o piuttosto dell'emissario, a valle di Lecco, è attestato dalle antiche fondazioni che si scoprono tanto a Como come a Lecco inferiormente all'attuale abitato, il quale si trova già esso pure

cordoni littorali. — Un cordone littorale, su morbido pendio, già per sè determina una laguna. Ma la corrente spinge la sua foce sempre più avanti, rompe e oltrepassa il primo cordone, che si rinforza colle sue dejezioni. Il mare, in certo modo, si arretra; un secondo cordone interno formasi concentrico al primo; quindi una seconda laguna, e così via via. Le lagune saranno ostrutte dalle dejezioni della corrente, o trasformate in laghi permanenti. Gli esempî rischiareranno questi principî.

257. Il delta (ossia la parte già emersa della dejezione alla foce di una corrente che sbocca in mare) è sempre preceduto da un rialzo, o diga, formante un basso fondo, che cinge all'ingiro la foce. Si chiama *barra di foce*, e spesso lascia così poca profondità, da rendere disagiato o impossibile allo navi l'ingresso nella foce.

258. La barra di foce si avanza coll'avanzarsi del delta, ossia lo precede ad una certa distanza. Attribuita falsamente dagli idraulici all'esuberanza delle torbide, è invece fenomeno totalmente marino. Una corrente che entri in un bacino lacustre, perdendo gradatamente la sua forza, ma scorrendo (se la profondità il permette) sul fondo del bacino, come su proprio letto, tende a trasformare il cono di dejezione subacqueo in piano a morbido pendio. Ma la stessa corrente, se sbocca in mare, non può scorrere sul fondo senza respingere l'acqua salsa: e questa, come più pesante, tende alla sua volta a portare in alto l'acqua dolce della corrente. Tale *forza sollevante* (*lifting force* negli *Studî sul Mississipi*) obbliga la corrente discendente d'un tratto ad ascendere formando con sè stessa un angolo ottuso, detto angolo *morto;* cessa dunque di botto la forza che trascina il detrito, il quale cade sul fondo, disponendosi semplicemente secondo le leggi delle masse incoerenti, cioè a rapido pendio. Il ciglio della barra, risponde esattamente all'angolo morto. Come la barra si avanzi per successive dejezioni, e con essa il delta, è facile intendere. L'avanzamento della barra rappresenta il valore della dejezione della corrente, per l'azione erosiva esercitata sul fondo. Le sostanze tenute in sospensione sono portate ben più lungi, e poco contribuiscono alla formazione del delta. Meglio a loro si attribuisce quella specie di contrafforte, o basso fondo a

---

sopra aree sommergibili nelle piene. Le stesse inondazioni delle due città, che si rinnovavano così sovente al principio di questo secolo, sono anch'esse una prova dell'accennato rialzamento. Non si voleva certo innalzare sopra un'area facilmente sommergibile un edificio della natura, per es., del duomo di Como. I lavori, per ovviare alle inondazioni, consistettero appunto nell'allargamento delle strozzature, di quella, per es., prodotta dal Caldone al ponte di Lecco, e nel taglio dell'alluvione che lo produceva che si eseguì, per es., al Lavello sotto Olginate, e nell'impedire l'ulteriore avanzamento di essa alluvione, deviando le correnti, ciò che si fece col Bione e colla Gallavesa.

scarpa, che trovasi, a grande distanza dal lido, disegnare il perimetro dei continenti.

259. L'Ombrone è, dopo l'Arno, il fiume più considerevole della Toscana. Preso però in via assoluta, è un fiumicello di nessuna importanza: ma i documenti relativi alle vicissitudini della sua foce, rimontando fino al secolo III dell'êra volgare, gli acquistarono una celebrità e importanza scientifica grandissima. Nel secolo III presentava un vero estuario imbutiforme, e sboccava in mare ad ovest di Grosseto (allora non esistente). Nel 1400 un regolarissimo delta era formato da interrimenti; il fiume sboccava ad est di Grosseto in un seno profondamente intagliato. Nel 1508 esso seno è colmato, e nel 1573 i successivi interrimenti avevano intercluso una vasta laguna ad ovest di Grosseto. Attualmente un nuovo delta regolarissimo si spiuge a sud di Grosseto, e l'interclusa laguna si è conversa nella vasta e perniciosa palude di Castiglione [1]. I fatti più interessanti presentati dal progresso della deltazione dell'Ombrone sono: 1.° il continuo avanzamento della terra nel mare, carattere principale dei delta mediterranei; 2.° l'interclusione di vasta laguna e la successiva conversione in palude; 3.° la continua deviazione della corrente verso sud-est, cioè in senso opposto ai massimi interrimenti, determinatisi certamente a preferenza su di un lato per effetto dei venti predominanti; 4.° la crescente tortuosità della corrente, coll'aumentarsi degli ostacoli, cioè delle dejezioni a valle. — È un piccolo fiume modello, ove si presentano isolati gli accidenti principali della deltazione mediterranea, che si moltiplicano e si complicano nei grandi fiumi.

260. Il delta del Rodano è descritto ampiamente da Elie de Beaumont. [2] Si assomiglia sotto molti rapporti a quello del Po. Le bocche del Rodano erano già conosciute dagli antichi; la sua biforcazione infatti, che ha luogo nelle vicinanze di Arles, deve essere di antichissima data. Le due braccia principali del Rodano, il *petit Rhône* ad ovest e il *grand Rhône* ad est, spinsero ciascuno un delta abbastanza regolare, fra cui sono intercluse le vaste lagune di Valcarès, cinte da terre fertilizzate dalle fangose dejezioni. Quelle lagune hanno un'estensione di 10,400 ettari. Un magnifico apparato littorale si stende dai dintorni di Marsiglia a quelli di Cette.

261. Da documenti certi risulta che il Rodano non subì cangiamenti, nel tronco a monte della sua biforcazione, da un secolo avanti l'êra volgare in poi. Infinite variazioni invece sono attestate nei tronchi inferiori. Gli antichi noveravano sette bocche dol Rodano; Plinio ne contava tre; ora si

[1] PILLA, *Trattato di geologia*, tom. I, pag. 164.
[2] *Leçons de géol. pract.*, pag. 366.

possono dire ridotte a due. Il piccolo Rodano va ostruendosi: prevale il gran Rodano che, colla sua foce a *zampa d'oca*, si inoltra rapidamente in

Fig. 22. Delta del Missisipi.

mare. Il suo avanzamento può ritenersi di 50 metri all'anno. L'avanzamento complessivo del delta, misurato dalla foce primitiva del Rodano, sarebbe di 10 mila metri.

262. L'opera citata di Elie de Beaumont contiene pure una descrizione particolareggiata del famoso delta del Nilo. Questo, sboccando dalle due catene, la libica che si dirige ad ovest, e l'arabica, diretta ad est, si ramifica nel Basso Egitto, costituendo la regione, detta già dagli antichi *delta*. Il delta del Nilo è adunque un delta per antonomasia. Una estensione di terreni coltivabili di 22,194 chil. quadrati e immense lagune sono il prodotto della deltazione. Gli antichi contavano sette bocche del Nilo; ora due soltanto predominano; quella di Rosetta ad ovest, e quella di Damietta ad est. È singolare il fatto che le due bocche sono in origine artificiali. Le inondazioni periodiche del delta, il suo conseguente rialzarsi, gli effetti di tali periodiche inondazioni sulla coltura dell'Egitto, ecc., sono del dominio della scienza più volgare.

263. L'avanzamento del delta è tuttavia lentissimo. Le due bocche principali non si avanzerebbero che 4 m. annualmente, e il rialzamento del suolo fu calcolato da Girard di 126 millimetri per secolo, e di soli 60 millimetri entro i limiti dei due bracci.

264. Il delta del Missisipì è mediterraneo per eccellenza. Il golfo del Messico sente le maree ancor meno delle nostre coste. L'azione della corrente deve prevalervi. L'enorme gettata del delta stesso ne è una prova. Il delta, misurato dalla prima biforcazione del tronco maestro, ha una lunghezza di circa 500 chilom., una estensione approssimativa di 32,000 chilom. quadrati. L'estrema gettata, fuori dell'antico cordone littorale, è di circa 180 chilom. La sola zampa è di 30 chilom., e si avanza annualmente 262 piedi. L'immenso sviluppo della barra di foce, le lagune e le isole a centinaja, i piani galleggianti, le cataste enormi di legname fluitato, i crateri dei *logs* elevati fino a 18 piedi sul pelo delle lagune, eruttanti acqua salsa e gas infiammabili [1], costituiscono, oso dire, di quel delta, la più vasta, la più imponente creazione sedimentare detritica dell'epoca attuale.

265. Riguardo al Po, abbiamo le eccellenti Memorie di Elia Lombardini. Il Po di Venezia, formatosi colla rotta della Stellata, si divise ben presto in due rami: Po-di-Goro e Po-delle-Fornaci. Questo interrò le lagune di Adria, e diviso in tre rami (Po-di-Tramontana, Po-di-Levante e Po-di-Scirocco), minacciava di interrimento le lagune venete, congiungendosi col-

---

[1] I *logs* sono vulcanelli di fango, alimentati dal gas infiammabile, sviluppato dalla fermentazione degli enormi ammassi di legname, fluitato dall'interno, e deposto alla foce del Missisipì.

l'Adige. Nel principio del 1600 un taglio volse il tronco principale dall'opposta parte, e i tre rami furono in breve interriti. I rami, in cui attualmente si divide il Po, souo posteriori alla metà del secolo XVII.

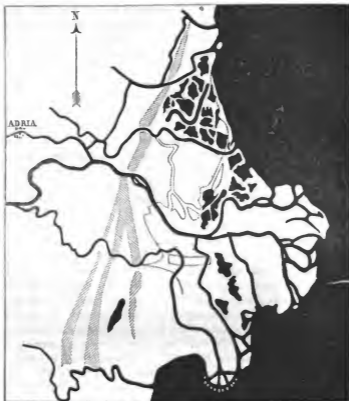



Fig. 23. Delta del Po.

La presente figura è una riduzione della carta che accompagna la Memoria di E. Lombardini *Dei cangiamenti cui soggiacque l'idraulica condizione del Po* [1]. Le linee punteggiate descrivono le foci del Po, e il lido del mare nel 1599. Ciò che sporge a est di quei confini, si produsse quindi in questi ultimi due secoli e mezzo. Le striscie, o zone irregolari, punteggiate rappresentano delle dune, o montoni di sabbia, infine tutto un apparato littorale, forse quello che proteggeva le antiche lagune di Adria.

[1] *Memorie dell'I. R. Istituto Lom.*, 1852.

Dalle vicende subíte dal Po negli ultimi 9 secoli si può dedurre quanto rapido sia l'avanzamento del suo delta, e in genere l'importanza del fenomeno della deltazione, considerato come agente modificatore del globo. Qualche secolo avanti il 1000 (possono supporsi 3 o 4 secoli) Adria era, come ora Venezia, la città delle lagune, *urbs septem marium*. Nel secolo XII ne distava già da 9,000 a 10,000 metri. Nel 1600 la distanza era 18,500 m., il che dà 25 m. di avanzamento annuale. Al principio di questo secolo, Adria distava dall' estremità del delta da 32,000 a 33,000 metri. Negli ultimi due secoli l'avanzamento del delta fu dunque di 70 m. all'anno. Attualmente tale avanzamento è talora, secondo Lombardini, di 80 m. Così del delta in generale; ma le foci, o punto deltoidi, presentano un progresso di 85 m., 89 m., 128 m., e fino di 132 m. Il progresso delle arginature, il cui effetto è di spingere la dejezione alla foce, e il vandalismo che, spogliando di boschi il bacino, determinò più pronte e più impetuose le piene, danno sufficiente ragione di un avanzamento così anormale. Dopo il 1599, per effetto del Po, la terra avrebbe conquistato, a spese del mare, un'area di 311 milioni di metri quadrati: 1,352,174 metri quadrati all'anno. Il volume dell' interrimento sarebbe annualmente di 27,043,480 metri cubici. L'interrimento, o l'interclusione, delle lagune venete potranno impedirsi ancora per secoli, ma sono alla fine inevitabili.

266. La conclusione pratica principale, che possiamo cavare dallo studio della deltazione mediterranea, si è che sommamente utili sono le arginature allo scopo al quale sono dirette, cioè alla difesa ed all' aumento dei terreni coltivabili. L'arginatura, riducendo, come abbiam veduto, stabile il letto instabile della corrente, e impedendo in pari tempo le dejezioni laterali, riduce tutta l'attività dejettiva della corrente alla foce. Il progresso singolare verificatosi pel delta del Po ne è sicuro argomento. È pure molto probabile, che la gettata del Mississipì oltre i limiti del cordone littorale debbasi, almeno in parte, alle arginature costruttevi su grande scala benchè disordinatamente. Veniamo ora alla deltazione oceanica, a quella cioè che distingue i mari soggetti a marea.

267. *I delta oceanici* ricevono la loro forma caratteristica dalla prevalenza dell' azione del mare (specialmente per effetto delle maree), sull' azione della corrente. Si richiami quanto s' è già osservato circa gli effetti della doppia corrente di marea, cioè del flusso e del riflusso alle foci; il prodursi cioè di una controcorrente, che elide l' azione della corrente di terra; il formarsi temporaneamente di uno stagno alla foce; l' azione erosiva raddoppiata per l'associazione della corrente di riflusso colla corrente di terra. Si intenderà così facilmente, come le dejezioni alla foce debbano essere disturbate o impedite; come la foce stessa debba per conseguenza

allargarsi; come infine si abbia un estuario in luogo di un delta; un delta negativo invece di un delta positivo. Gli interrimenti succederanno ugualmente, la terra si avanzerà ugualmente entro i dominî del mare; ma in modo affatto irregolare; lateralmente, piuttosto che alla foce.

268. Le bocche del Gange occupano una fronte di circa 300 chil. Non sono meno di 15, delle quali le tre più considerevoli trovansi ad est. Ogni bocca è un estuario a sè. Il Gange è famoso per la sua attività erosiva. Il detrito, o fango esportato, si fa ascendere a 500,000 piedi cubici per secondo, cioè a 57,000,000 tonnellate al giorno. Il prodotto annuale della rapina, che il solo Gange opera sulla terra, per costrurne un nuovo sedimento in mare, sarebbe rappresentato da una montagna che avesse 1,000,000 di piedi quadrati di base, e l'altezza di 864 piedi.

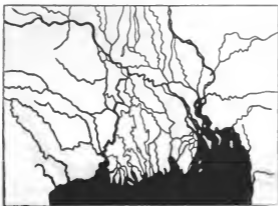



Fig. 24. Delta del Gange.

Tanta massa di sedimenti dovrebbe prolungare enormemente il delta di questo fiume. Presenta esso diffatti una aliquale sporgenza, per rapporto al littorale del golfo del Bengala: ma essa è minima in confronto di quella che è offerta da fiumi di portata assai minore, e ben aliena dalla forma deltoidale. Il delta del Gange è diffatti quasi altrettanto lungo che largo, cominciando, secondo Elie de Beaumont, a 320 chilom. dal mare, e avendo una fronte littorale di 300 chilom. Ha circa la doppia estensione del delta del Nilo. Il delta è piuttosto un espandimento del detrito sulla costa, entro il quale sono incisi ad imbuto gli estuari: e questi si avanzano, quasi in fila serrata, sopra una retta, parallela alla costa, formando quel complesso che accusa un equilibrio tra la corrente e il mare, agenti come forze con-

trarie. Un fatto rimarchevole, presentato da questo delta, è l'immensa ramificazione. Se ne trova facilmente la ragione nel rigurgito dei tronchi inferiori, per effetto dell'alta marea per cui su quella bassa pianura, così facilmente sommergibile, ove il fiume è due volte respinto dal mare entro terra con rigonfiamento dei tronchi superiori, le deviazioni, i salti, le rotte debbono essere facili e continue, risultandone, piuttosto che una ramificazione, quella reticolazione di canali, che è caratteristica del delta del Gange.

269. Per la copia dell'acqua, che riversa in mare, il Rio delle Amazzoni è il vero re de'fiumi. La sua poderosa corrente d'acqua dolce scorre ancora ben distinta a 500 chilom. dalla foce. Se le sue dejezioni sono, come in via assoluta esser debbono, proporzionate alle mole della corrente, perchè nessun deposito alla foce che si possa chiamare un delta? Perchè invece

Fig. 25. Estuario del Rio delle Amazzoni.

essa foce presenta il tipo di un estuario gigantesco? Certo la marea, che vi si spinge con onde furiose dell'altezza di 10 a 15 metri, deve produrre

in quantità proporzionata l'effetto della dispersione laterale del detrito. Ma quì si aggiunge un'altra causa. La ragione affatto eccezionale della forma tutta eccezionale delle foci delle Amazzoni sta nella marina corrente equatoriale, di cui parleremo poi. Questa, giungendo dall'Atlantico per la via di est, va, per così dire, a imboccare il gran fiume. Ma giunta presso le sue foci, come mostrano le carte di Maury, ripiegandosi d'un tratto verso il golfo del Messico, e, radendo le coste, si getta attraverso alla gran corrente di terra. Così si impossessa della torbida, e trasportandola verso nord, va a formare dei bassi fondi, delle maremme e delle terre basse lungo le coste. Le maremme e le bassure della Guiana altro non sarebbero che il delta del Rio delle Amazzoni.

270. Il Reno non presenta un delta, ma un pretto estuario, in cui si traduce la lotta continua tra il mare ed una robusta corrente di terra; lotta nella quale l'uomo, da venti secoli, prende una parte attivissima, che se vuol essere efficace, dev'essere continua. Esce dal lago di Costanza, purificato per la dejezione di un delta lacustre vastissimo; percorre più di 600 miglia, e sboccando a Clèves in vasta pianura, si divide in tre rami: il Whal, il Leck, e il Vecchio Reno che tende ad interrirsi. L'Issel è un quarto ramo o canale che si scarica nello Zuyder-See. Il Wahl, il più considerevole di tutti, riceve, quasi alla foce, la Mosa. Si può dire che il delta del Reno comincia a Clèves, ben inteso che tutta la bassa regione del Brabante, ecc. sia, come l'Egitto, un dono del fiume. Ma la costa dei Paesi Bassi, invece di presentare una sporgenza, offre, anche prescindendo dalle lagune e dagli estuarî, una rientranza. Il Reno coi fiumi associati (la Mosa, l'Escaut, ecc.) non conquistò quelle plaghe che mediante una guerra piena di vicende col mare: la configurazione del paese prodotto ne è appunto il monumento.

271. Alcuni cenni sugli infiniti studî fatti circa quel delta dai geologi e dagli antiquarî. La gran pianura tra Anversa o Ostenda era al tempo dei Romani terra di boschi e di paludi. Imperversando il mare principalmente nel V secolo, l'aveva tutta inghiottita. Il mare stesso poi ricoprilla di torbe e di limo fino a 3 m. di spessore; i Belgi riconquistarono tutto quel terreno all'agricoltura. Nel 1421 un potente uragano scavò il Bies-Bosch alla foce comune del Whal e della Mosa. A quest'ora è quasi interamente converso in erbosa pianura. Lo Zuyder-See e il Mare di Harlem non sono che enormi lagune. Il mare vi imperversò più volte. Ora il così detto *Mare di Harlem* è prosciugato artificialmente, e ridotto a cultura. L'isola Wieringen era nel 1205 unita al continente. Molte isole tra Texel e il Weser furono demolite dal mare; altre furono riunite al continente per via di sedimentazione.

272. L'apparato littorale è quanto si può dire stupendo. Da Calais alla fóce dell'Elba le coste del continente e delle isole sono cordonate. I bassi fondi, i banchi di sabbia, i montoni, le dune, presentano uno sviluppo meraviglioso; le lagune sono gigantesche; le variazioni incessanti. Ciò non ostante un colpo d'occhio alla carta del littorale, dal passo di Calais alle foci dell'Elba, ci mostra una costa uniforme, una curva regolare, la cui forma grandiosa e semplicissima è, come dice Elie de Beaumont, immagine ed effetto della semplicità generale dei movimenti, pei quali il mare ha segnati a sè stesso, mediante un gran cordone littorale, i proprî confini. Ma se da una parte il mare tende a demolire le terre, dall'altra si adopera a formarne di nuove, coi materiali forniti dalle correnti di terra, colmando lagune e seni tranquilli.

273. La natura mineralogica dei delta, e quindi le loro proprietà per rapporto alla vegetazione, dipendono naturalmente dalla natura dei terreni attraversati dalla corrente, come dalla natura più o meno erodibile dei terreni stessi dipende la loro potenza. Il delta del Reno può servir d'esempio sotto questo rapporto. Le regioni di Allemagna e del Belgio, che si accostano al mare a nord, sono eminentemente regioni sabbiose. Il *geest*, che gode di una estensione grandissima in Germania, consta di grandi ammassi di sabbie, debolmente argillose, che ricoprono i piani e i monti, e formano sterili brughiere e lande dalla Vestfalia al Reno. Vaste estensioni sabbiose, di diversa epoca geologica, si trovano pure in Fiandra. Il *geest* fiancheggia il Reno fin presso il suo delta, spingendosi fino allo Zuyder-See; e le sabbie di Fiandra spingonsi talora fino al mare, formando delle coste di continuo demolite dall'azione erosiva del mare stesso. Non è da maravigliarsi dunque nè che in un terreno, già di natura incoerente, e che dà luogo alla formazione di un detrito ancora più incoerente, abbiano avuto luogo tante vicissitudini; nè che da una parte si verifichi così enorme sviluppo di dune e di cordoni litorali, mentre nei seni tranquilli si depone così rapidamente un limo fecondissimo; nè che le regioni meridionali dell'Olanda, in immediata dipendenza dalle colline, siano sterili, mentre fertilissime sono le regioni del delta, la parte cioè che costituisce, propriamente parlando, i Paesi Bassi. Nella formazione delle terre fangose si vede sopratutto l'effetto delle maree, quando il flusso possa recare le sue dejezioni in seni tranquilli. È sopratutto dietro le isole che il fino detrito si depone durante il flusso, e vi si stabilisce, dove non possa essere riportato dal riflusso, nè sturbato dai violenti moti del mare.

274. La formazione alluvio-marina, che da tanti secoli si forma dal Reno, in concorso col mare, attinge uno spessore enorme, offrendo tali alternanze e varietà, quali debbono caratterizzare un terreno che è il risultato

della lotta tra due variabilissimi agenti. Le sezionl delle allnvioni renane, mediante i trafori artesiani, come ne attestarono la potenza, così ne svelarono l'interessantissima natura. Un pozzo scavato ad Amstordam nel 1605, alla profondità dí 253 piedi, offrì, dall'alto al basso, la segnente sozione:

Sabbla come qnella delle dune con sabbia torbosa e argilla	51	piedi
Sabbia dello dune o argillo	22	"
Sabbia	14	"
Sabbia stratificata con conchiglie marino	55	"
Argille dure senza conchiglie	49	"
Sabbie miste a pietre (*geest*)	13	"
Sabbia pura	20	"

Abbiamo adunque, sopra il fondo originario (*geest*), 191 piedi di terreno alluvio-marino, prodotto della dejezione del Reno.

Infine il terreno d'Olanda è formato da una alternanza di depositi aventi la stessa natura di quelli, che si formano anche attualmente, secondo le diverse circostanze mutabili all'infinito, per l'instabilità di tutti gli agenti che vi concorrono. Sono sabbie fluviali, o marine, dune, fanghi, torbe.

275. Dallo studio dei delta d'ogni forma possiamo venire alle conclusioni seguenti: 1.° La corrente di terra tende sempre ad interrire il mare, e il mare a disperre, a distribuire gli interrimenti. 2.° Se la corrente prevale sull'azione del mare, si forma alla foce delle correnti un delta positivo o sporgente; nel caso contrario, un delta negativo o rientrante, ossia un estuario. 3.° Nel primo dei detti casi l'interrimento ha luogo preferibilmente alla foce stessa della corrente; nel secondo caso sui lati. 4.° In tutti i casi la terra si avanza nel mare.

276. L'ultima conclusione è importantissima per le applicazioni alla geologia. Finchè resti un certo rilievo della terra asciutta, e una certa profondità de' mari, sarà sempre la superficie asciutta in aumento. Ma i continenti avanzandosi in mare demoliscono in pari tempo sè stessi; perdono in altezza quanto guadagnano in estensione. Se altri agenti riparatori non elidessero l'effetto della erosione e delle correnti, giorno verrebbe in cui la cosa succederebbe in senso inverso; il mare invaderebbe la terra finchè non l'abbia tutta inghiottita. È difficile il poter dire quando e come ciò avverrebbe, nè pare sia avvenuto mai anche nelle epoche andate; ma certamente avverrebbe. Vedremo quali sono gli agenti riparatori per cui pare stabilito nel gran piano della natura che ciò mai non avvenga di fatto. Preso il globo nelle sue condizioni, che chiameremo normali, distribuito cioè in terre ed in mari, è la terra, ripeto, che si dilata nel mare. Vediam dunque già, p. es., quanto sia inammissibile l'ipotesi di Brocchi

che la pianura padana, ciottoli e sabbie compresi, sia un parto del mare che colmò così il golfo del Po dopo l'epoca pliocenica. L'ipotesi diventa tanto più inammissibile quando si pensi che, compiuto il rilievo attuale dei continenti, il Po trovasi anche, e meglio che allora, nelle condizioni di una corrente a foce mediterranea.

277. Si rifletta all'importanza geologica dei sedimenti. Dalle cifre di esportazione, e dal progresso del delta di alcuni fiumi, si può calcolare la potenza di simili formazioni, acquistata anche solo dopo la comparsa dell'uomo, pel simultaneo concorso di tutte le correnti del mondo. Ma la parte che emerge alle foci o, con altre parole, costituisce i delta, è minima in confronto di quella che si cela e si espande sui fondi marini. Ho già parlato di quella zona di sedimento o *talus*, che disegna, con un basso fondo, il perimetro dei continenti, e le cui punte più avanzate corrispondono alle foci delle correnti. Avviene perciò che verso terra, specialmente dove sboccano i fiumi, il mare è assai poco profondo. A 30 leghe dalla Norvegia e dalle Isole Britanniche, non trovereste che circa 180 m. di profondità; a 40 leghe dalle coste del Brasile, solo m. 64. Il golfo di Venezia è una vera continuazione della pianura lombardo-veneta. Tra la Dalmazia e le bocche del Po, la massima profondità è di m. 40; verso Venezia non è che di m. 21. Oltrepassata questa, che chiameremo zona sedimentare detritica, si hanno le grandi profondità. Se i bassi fondi rispondono alle coste ove abbondano i fiumi, è logico in genere attribuire i bassi fondi ai fiumi (l'opposto dicasi delle coste che si sprofondano rapidamente). Se tra Nizza e Genova si trova una profondità di 610 m. e di 1828 m. presso Gibilterra, si può senza timore ai depositi attuali prodotti dal Po, dal Rodano, dal Missisipì, ecc., attribuire lo spessore di 500 a 1000 metri. Che han dunque di straordinario i m. 305 di conglomerato terziario nei dintorni di Nizza, i m. 610 di argille terziarie nei dintorni di Parma, ecc.?

CAPITOLO IX.

LA CIRCOLAZIONE DELL'OCEANO.

278. Il legame dinamico de' fatti ci condusse a trattare della sedimentazione detritica, e quindi a considerare il mare ne' suoi rapporti, con questo parziale fenomeno. L' azione del mare, in quanto si porta sui detriti, o svelti dalle coste per la forza immediata delle onde, o recati dai fiumi, si stringe più che altro al littorale; diasi pure alla parola littorale il più vasto senso. Ma ben più vasto è il dominio di questo agente, emulo dell'atmosfera nell'impero del globo, e ad essa coordinato nell'intrattenimento della vita tellurica.

279. Le stesse leggi di meravigliosa economia, che governano il perpetuo giro dell' atmosfera, reggono il perpetuo moto dell' oceano che involge quasi per tre quarti la terra. Dalla doppia circolazione atmosferica e oceanica dipende l'equa distribuzione degli elementi, a cui è condizionata la vita delle piante e degli animali, sulla faccia della terra del pari che in seno alle acque.

280. Nell' ipotesi di una perfetta stabilità dell'oceano, gli eccessi del calore sotto la zona torrida, del pari che i rigori delle regioni polari e delle regioni temperate, ridurrebbero entro ben angusti confini la vita organica; se pure rimarrebbe ancora una zona, un punto dell' oceano, che potesse ritenersi abitabile. Era necessario che un perpetuo moto delle acque, un perpetuo rimescolamento, favorendo la distribuzione del calorico, resa difficile dalla poca conduttività dell'acqua, e portando agli animali stazionarî, come a' coralli, ossigeno e nutrimento, universalizzasse la vita nelle immense regioni del mare. I venti e le maree erano insufficienti allo scopo. L'Autore della natura ordinò per l' oceano, come per l' atmosfera, un sistema perfettissimo di circolazione. Alla sintesi di sì grandioso sistema premettiamo l' analisi di alcuni fatti più salienti, cominciando da una breve descrizione della corrente più famosa e più completamente studiata.

281. Il *Gulf-stream* (corrente del golfo) è, dice Maury, un vero fiume, che scorre nel mare; è un fiume di acqua calda, entro un letto di acqua fredda;

un fiume d'acqua salata entro un letto d'acqua salmastra; un fiume, la cni portata è le migliaja di volte superiore a quella del Mississipì e del Rio delle Amazzoni. Esce dal golfo del Messico, passa impetuoso attraverso lo stretto della Florida, si spinge verso il banco di Terra Nnova, ove, ripiegandosi verso il nord-est, attraversa l'Atlantico, e va a dare snlle coste dell' Europa. L' Inghilterra si bagna nel bel mezzo delle sue acqne.

282. La più volgare spiegazione ripeteva il Gulf-stream dal Mississipì, di cui era la continnazione: ma un fiume d'acqna dolce poteva partorire nna corrente d'acqua salata in eccesso a lni di volume le mille volte maggiore? Franklin attribuì il Gulf-stream ai venti alizei nord-est, che spingendo le acqne nel golfo del Messico, le obbligavano a rifluir qnindi verso nord attraverso lo stretto della Florida. L'ipotesi fu universalmente ammessa. Ma il Gulf-stream sarebbe nell' ipotesi una corrente discendente, e invece ascende nn ben sensibile pendío, pel solo fatto ch' ella va allargandosi e assottigliandosi mentre scorre sul piano perfettamente livellato dell'oceano. Per qual legge poi, mentre il Gulf-stream discende il piano inclinato snpposto da Franklin, la corrente artica, che le scorre accanto, ma a ritroso di lei, lo ascenderebbe?

283. Una corrente fredda esce diffatti dalla baja di Baffin, diretta verso sud. Incrociandosi col Gulf-stream presso il banco di Terra Nuova, si partisce in dne rami. L'uno scorre lnngo le coste degli Stati Uniti, stretta tra il lido e il Gnlf-stream, l'altro attraversa lo stesso Gnlf-stream come corrente sottomarina.

284. La *corrente del golfo* non è del resto nn fatto isolato; essa è in intimo rapporto con un'altra corrente, anzi ne è la continuazione. Dalle sponde occidentali dell' Africa si mnove una corrente marina, che, diretta verso le coste nord-est dell'America meridionale, attraversa essa pure l'Atlantico, penetra nel mare delle Antille, qnindi nel golfo del Messico, d' onde esce, mntando soltanto il sno nome di *Corrente equatoriale* in qnello di Gnlf-stream. Una gran corrente adunque, con moto giratorio, si svolge nel gran bacino dell'Atlantico, seco trascinando, in un circolo senza fine, un quarto delle acque dell'Atlantico.

285. I naviganti sogliono gettare delle bottiglie in mare, contenenti degli scritti, monumenti flnttuanti dello loro imprese e dei loro pericoli, confidati all'infido elemento. Beechery imprese a delineare una carta di quelle bottiglie, che vennero per avventura raccolte. Da questa carta si rileva, che le bottiglie gettate tra l'antico e il nuovo continente, tanto a nord come molto basso a sud dell'eqnatore, si raccolsero poi, o sulle coste delle Indie occidentali, o lungo la gran corrente del golfo. Due, tra le altre,

gettate in una latitudine sud sulle coste dell'Africa, furono raccolte l'una alla Trinidad (Antille), l'altra a Guernesey, nella Manica! Quest'ultima aveva dunque percorsa tutta la corrente atlantica: era partita dalle coste occidentali dell'Africa; aveva attraversato l'Oceano, tenendosi approssimativamente sull'equatore; s'era trovata davanti allo foci del Rio delle Amazzoni; aveva passata la barriera delle Antille, per introdursi nel golfo del Messico, donde uscita per lo stretto della Florida, aveva rasentato le coste degli Stati Uniti fino al banco di Terranova, e di là, attraversando di nuovo l'Atlantico da sud-ovest a nord-est, aveva infilato la Manica. Tale è appunto il corso della grande corrente atlantica, tracciato al presente al pari di quello di qualunque fiume continentale.

Ma il corso della corrente non finisce qui. Essa corrente, uscita stretta, quasi da una trafila, per lo stretto della Florida, sempre più dilatandosi, a guisa di ventaglio, abbraccia tutte le coste occidentali dell' Europa: qui costretta a dividersi, si butta colla sinistra nel mare che divide la Groenlandia dall' Europa, verso l' Islanda e lo Spitzberg: colla destra invece si ripiega a sud; passa davanti allo stretto di Gibilterra; costeggia l'Africa nord-ovest, e va a raggiungere la corrente equatoriale, colla quale si continua. L' Oceano Atlantico, circa tra l'equatore e il 50° di latitudine settentrionale, è dunque trascinato a modo di vortice, in una grande corrente circolare.

286. Un fenomeno singolarissimo mette in piena evidenza il fatto. Colombo, partendo dalle Canarie, e avventurandosi primo negli intentati deserti del mare, trovossi d'un tratto impigliato in una specie di foresta galleggiante, in un mare di alghe, che incusse un grave spavento nell'animo de'suoi compagni. Quel mare di alghe esiste ancora, quale lo vide Colombo. È il celebre *Sargasso*, cioè una enorme estensione coperta di vegetazione marina, con predominio di una specie di alga, in gigantesche ciocche filamentose, che i botanici conoscono sotto il nome di *Fucus natans*. Quale è l'origine di quella foresta natante, a cui le carte assegnano una estensione di un milione almeno di miglia quadrate? Io credo che nessuno l'abbia meglio definita di quello che fece Maury, considerando quell'immenso spazio come un *rendez-vous général* [1], cioè come il luogo ove si danno la posta tutte le alghe e i legni galleggianti che obbediscono al movimento dell' Atlantico. Il mare dei sargassi è il gran centro di rotazione della corrente atlantica. I corpi galleggianti su di una corrente hanno una tendenza generale a buttarsi sui lati della corrente stessa, e a raccogliersi nei seni tranquilli che per avventura la fiancheggiano. Noi sappiamo (e

[1] MAURY, *Géographie*, § 452.

di questo fenomeno riparleremo) che l'Isola Jan Mayen e lo Spitzberg, trovandosi sul lato sinistro della grande corrente del golfo, sono punti di ritrovo dei legnami, che, giungendo al mare dall'interno dell'America settentrionale, vanno a formare sulle coste di quelle isole accumulazioni veramente prodigiose. Per la stessa ragione i galleggianti sulla destra della corrente devono buttarsi verso il centro, relativamente immobile, intorno al quale la corrente atlantica si aggira, e rimanervi stagnanti. Quella specie di suolo natante, preparato da tanti secoli, deve servire ad alimentare quella vegetazione marina, la quale, come la parte più saliente del fenomeno, è sola rimarcata dai navigatori. La più volgare esperienza ci assicura del resto che, dato un centro di rotazione di una corrente circolare, i galleggianti vi si raccolgono. Se all'acqua, che riempie un bacino, sparso di paglinzze, si imprime un moto rotatorio, le pagliuzze si radunano nel mezzo del bacino, cioè al centro del circolo semoventesi. Così vedonsi come attratti violentemente i corpi galleggianti al centro dei vortici, che si scorgono tante volte formarsi in seno ai fiumi. Il mare dei sargassi è dunque perenne testimonio di quella circolazione atlantica, di cui abbiamo delineati i tratti principali. Di quei sargassi incontransi ad ogni tratto gli strappi lungo la corrente del golfo, poichè la corrente, oscillando, principalmente a norma delle stagioni, invade a volta a volta degli spazi che erano tranquilli.

287. Qual'è la causa di fenomeni così singolari? Apprendiamola da Maury. Suppongasi un globo avente le dimensioni e i moti della terra. Sia esso involto da uno strato d'acqua della profondità di 200 piedi. Suppongasi che su una zona, corrispondente alla zona torrida, quell'acqua diventi di un tratto olio, fino alla profondità di 100 piedi. Eccoti l'olio riversarsi lateralmente sulle acque, ed allargarsi verso i poli, mentre le acque rimaste lateralmente, non più sostenute, si precipitano sotto la corrente oleosa verso l'equatore. Per la stessa legge, cioè pel moto di rotazione, che determina la direzione obliqua dei venti alizei o dei venti extratropicali, le correnti oleose si dirigerebbero, partendo dall'equatore, verso il polo artico per una via obliqua, ossia per una spirale svolgentesi da sud-ovest a nord-est, e verso il polo antartico per una eguale spirale da nord-ovest a sud-est. Le correnti acquee poi partirebbero dai due poli, dirette verso l'equatore, sopra una spirale rispettivamente da sud-est e nord-ovest pel polo artico e da nord-est a sud-ovest pel polo antartico [1]. Basta supporre che l'olio ridiventi acqua verso i poli, e l'acqua diventi olio verso l'e-

[1] Si applichi letteralmente alle correnti marine ciò che fu detto delle correnti atmosferiche al § 48.

quatore, per vedere stabilito un circolo perpetuo di correnti, che si scambiano dall' equatore ai poli, e dai poli all'equatore.

Mutati i termini, l'ipotesi è un fatto. L'acqua sotto la zona torrida, se non diventa olio, diventa qualche cosa che gli si assomiglia in confronto dell' acqua che si trova sotto le latitudini più alte.

Sotto la zona torrida infatti l' acqua si riscalda, si dilata, e diviene quindi più leggiera dell' acqua, che invece sotto le alte latitudini si raffredda, si condensa, e quindi diviene più pesante. L' acqua della zona torrida tenderà quindi a riversarsi verso i poli, galleggiando sulla fredda, che tenderà dai poli all' equatore. Ma l' acqua fredda, mano mano che arriva all' equatore, si riscalda; e l' acqua calda si raffredda, mano mano che si porta ai poli. È il caso precisamente dell' acqua che perpetuamente si cambia in olio, e viceversa, mantenendo un moto giratorio perpetuo. Fu anche notato che, stante le sue proprietà fisiche e chimiche, l' acqua che deriva dall' equatore ha pochissima affinità con quella che viene dai poli. La *corrente del golfo* si mantiene così distinta in mezzo all'Atlantico, come fosse veramente un fiume d' olio scorrente in un letto d' acqua. Ciò deve giovare assai a rendere più spiccato, più deciso il sistema della circolazione marina.

288. Il sistema della circolazione marina, supposto che il mare coprisse tutto il globo, con uno strato d'acqua dovunque di eguale profondità, dovrebbe essere della massima semplicità nel suo impianto. Ma è facile intendere come l'esistenza dei continenti o delle isole, l'orografia delle coste e del fondo, modificheranno questo sistema di generale circolazione; come, essendo l' Oceano diviso in parziali bacini, avrà luogo in ciascuno un circolo parziale; come ciascun circolo parziale sarà modificato dai parziali accidenti di ciascun bacino. Intanto l'Atlantico a nord dell'equatore ci mostra una corrente che, movendo dalla zona torrida e ripiegandosi sopra sè stessa, si dirige verso nord-est (corrente equatoriale e corrente del golfo), mentre dal polo nord muovesi in senso opposto verso l' equatore la corrente artica.

289. Un tale sistema di circolazione universale si sarebbe potuto fissare *a priori*, e avrebbe poi trovato una prova irrecusabile nella circolazione del Nord Atlantico, quand'anche questo oceano fosse stato egli solo dischiuso alla navigazione. Ma ormai invece la circolazione del Nord Atlantico non figura che, quale dev'essere, un episodio nel grande sistema della circolazione oceanica. Ormai è noto che tutto l'oceano circola, e si rimuta in sè stesso mediante un sistema complicatissimo di correnti che scorrono dall'equatore ai poli, e di contro-correnti che riconducono l'acqua dai poli all' equatore. Ma i principî a noi noti, che guidano le correnti di mare

come le correnti di terra, ci dicono come la distribuzione e la forma delle terre, e la varia figura del fondo marino, devono influire sul sistema delle correnti di mare, precisamente come la forma e la direzione, e tutti gli accidenti delle valli, influiscono sul sistema dei fiumi, anzi lo determinano. Siccome l' Oceano, principalmente a nord dell'equatore, è diviso in bacini parziali, così il gran circolo deve scomporsi, come abbiam detto, in circoli parziali. Uno di questi è appunto il circolo atlantico. Ma ogni oceano ha il suo Gulf-stream nel suo grande complesso: deve essere dotato cioè di un movimento circolare. Il movimento giratorio è condizione necessaria dello scorrere di un liquido entro un bacino, cioè in un ambiente senza uscita; ma la forma del bacino determinerà la forma speciale del circolo.

290. Per quanto gli studî eseguiti negli altri mari restino di lunga mano al di sotto degli studî fatti sull'Atlantico, continuamente incrociato dalle navi delle nazioni più incivilite, tuttavia ne sappiamo più di quanto è necessario a conferma della teorica, considerata nelle sue basi.

291. L'Oceano Indiano è in condizioni diverse dell'Atlantico: quello è chiuso a nord, mentre questo vi è aperto. Il sistema della circolazione si afferma però egualmente nel primo, come nel secondo. Esistono nell' Oceano Indiano due correnti notissime. L' una, diretta verso sud e conosciuta sotto il nome di *corrente di Mozambico*, urta contro il Madagascar, e si divide in due rami, precisamente come un fiume che incontra uno scoglio. Il ramo ad ovest infila il canale di Mozambico, e, cambiato il nome primo con quello di *corrente Lagallas*, si butta verso il Capo di Buona Speranza, poi si ripiega a sud, cedendo all' impulso delle correnti fredde, che vengono dal polo antartico verso il Capo. Come ognuno vede è una corrente equatoriale, che va a stabilire il circolo delle acque tra l'equatore e il polo nell' emisfero australe. Intanto l' altra corrente volge per opposta via a stabilire il circolo dell' emisfero boreale, unendo in un solo gran circolo i due bacini communicanti, l'Oceano Indiano cioè e il Nord Pacifico. Questa corrente, nota assai ingegnosamente Maury, è un fedele ritratto della corrente del golfo, eseguito, aggiungerei, in proporzioni ancora più colossali. Essa si dirige dapprima verso nord, quasi parallelamente al Gulf-stream; quindi, come il Gulf-stream, si ripiega verso est, per correre il Pacifico, insinuandosi tra le Filippine e le coste dell'Asia, movendo verso le Aleuzie, sempre parallela al Gulf-stream, di cui imita maravigliosamente le mosse. Il golfo del Bengala rappresenta, in questo caso, il golfo del Messico; lo stretto di Malacca risponde allo stretto della Florida; le coste della China stanno per le coste degli Stati Uniti, e il Giappone per la Terra Nuova; finalmente, Washington e la Colombia rappresentano le isole e le coste continentali d' Europa, come

l'alta California starebbe per la Spagna, di cui possiede il clima, e i piani sabbiosi della bassa California per l'Africa occidentale. Le Aleuzie e l'Aljaska stanno benissimo per la Groenlandia [1] in rapporto collo stretto di Behring, che ricopia la baja di Baffin. Qui tuttavia il confronto rileva, secondo Maury, una grande differenza. Lo stretto di Behring è così angusto e poco profondo, che non può dar luogo a una corrente artica sensibile: d'altronde l'Aljaska è unita al continente americano ad est, mentre la Groenlandia è separata dall'Europa per un enorme braccio dell'Oceano. La corrente Indo-Pacifica è dunque costretta a ripiegarsi tutta contro le coste occidentali dell'America, e a ritornare immediatamente, come corrente fredda, verso l'equatore, larga di frescure alla California, paese assai più temperato dell'Africa sotto le stesse latitudini. Le carte mostrano poi che la corrente ripiegata corre parallela all'equatore, da est ad ovest, come la corrente equatoriale dell'Atlantico; per cui anche il Nord-Pacifico vanta il suo circolo perfetto come il Nord-Atlantico, e lo afferma con un mare di sargassi, che corrisponde precisamente, sotto tutti i rapporti, al celebre Sargasso dell'Atlantico, occupando il centro della corrente girante.

292. Un altro circolo meno noto si compie tra l'Africa orientale e l'Australia, per mezzo di una corrente, la quale prende anch'essa origine dall'Oceano Indiano, e sembra perdersi, dice Maury, in una specie di mare di sargassi. Questa corrente calda è fiancheggiata da due fredde, che derivano dalle regioni antartiche, testimoniando la loro origine con un corteo di ghiacci galleggianti, che incontransi fitti principalmente ad ovest di quel mare di sargassi. I bastimenti che navigano verso l'Australia s'imbattono talora in quei ghiacci fin sotto il 40° di latitudine sud.

293. Lasciamo altri infiniti particolari, che non giovano allo scopo, sembrandoci aver detto quanto basta, per credere dimostrato col fatto il sistema della circolazione oceanica, secondo le idee di Maury. Le carte più moderne, quella p. es. dell'Atlante di Stieler, sono più ricche di particolari di quelle di Maury, e alcuni di questi particolari non sono conformi ad altri stabiliti dallo stesso Maury. Ma trattasi, dico, di semplici particolari, e la scienza ha ancora molto da raccogliere. Il sistema però è sempre quello che siamo venuti delineando, e le future scoperte non faranno che accrescere luce a una teorica, la quale si fonda sulle leggi imprescrittibili della natura.

[1] Gli indigeni delle Aleuzie si servono pei loro usi dei legni di canfora, e d'altre piante condotte dalla China e dal Giappone dalla descritta corrente indiana, come gli abitatori di Jan Mayen e dello Spitzberg utilizzano i legni di campeggio e d'altre piante, che la *corrente del golfo* loro arrèca dalle coste orientali dell'America.

294. Fin qui parlossi di quella circolazione marina, che si compie così evidentemente entro i limiti di ciascun emisfero. L'identità della causa e l'analogia degli effetti che esistono tra il sistema della circolazione marina e il sistema della circolaziono atmosferica, ci induce a domandare a noi stessi, se mai non esistesse per l'Oceano, come esiste per l'atmosfera, una circolazione in senso più vasto, uno scambio delle acque tra emisfero ed emisfero, tra polo e polo? Io ritengo che esiste, benchè non trovassi mai esplicitamente enunciata la tesi. Se è vero ciò che io suppongo, ci troviamo a fronte ad uno di quei fatti grandiosi, che interessano fondamentalmente la dinamica terrestre del pari che la geologia. I motivi che mi persuadono verificarsi lo scambio delle acque tra i due emisferi sono in tutto analoghi a quelli, che ci fanno ritenere come un vero dimostrato lo scambio che, nello stesso senso, si opera nell'atmosfera.

295. Rifletto anzi tutto che il sistema delle maree, secondo le idee di Wewell, dice già uno scambio delle acque tra i due emisferi. Dall'Oceano Antartico, culla delle maree, le correnti si spingono verso nord, per ritornare verso sud due volte al giorno. Il sistema delle maree porta un continuo diguazzarsi delle terre dentro i mari, e un rimescolarsi dei mari in sè stessi, e non può a meno di produrre, almeno in parte, quegli effetti, che vogliamo attribuire a un sistema di circolazione più perfetto. Ma questo sistema esiste infatti; si verifica un vero scambio, un vero incrociamento delle acque australi colle boreali, che completa il grandioso sistema della circolazione marina.

296. L'identità dell'aria sotto tutte le latitudini del globo ci servì come argomento a ritenere lo scambio dell'aria tra i due emisferi. Perchè non avrebbe pari forza l'identità delle acque in tutti i mari per farci ammettere lo stesso fatto per riguardo all'Oceano? Maury insiste assai sul fatto della eguale natura della salsedine in tutti i mari. Le diverse acque offrono in vero delle diversità, che riguardano la quantità proporzionale delle materie tenute in soluzione. L'immediata dipendenza dai continenti, che vi riversano le acque dolci, l'evaporazione più o meno rapida nelle diverse regioni, danno specialmente ragione di tali differenze. Ma la salsedine marina si mantiene ovunque sostanzialmente la stessa; sono sempre gli stessi elementi, sempre la stessa miscela. Nel Mar Rosso non piove mai: gli elementi solubili delle rocce che ne formano il bacino non vanno mai a mescolarsi colle acque. Nel Mediterraneo invece piove assai: le acque, filtrando attraverso terreni calcarei, argillosi, gessosi, vulcanici, giungono al mare cariche di carbonati di calce e di magnesia, di acido silicico, di ossidi di ferro e di manganese, di allumina di solfati e di cloruri di calce, di magnesio, di potassa e di soda, come ne fanno fede, si

può dire, per tutti i fiumi d' Europa le copiose analisi del Bischof.[1] Eppure la salsedine del Mediterraneo è sostanzialmente uguale a quella del Mar Rosso. Per la eguaglianza dei termini, salve le proporzioni diverse, nel confronto che si volesse istituire fra i due emisferi, il Mar Rosso può stare per tutto l'emisfero sud, ove piove poco, e ove non vi sono che pochissime terre, sulle quali le acque pioventi possono impregnarsi di sali; e il Mediterraneo per l'emisfero nord, ove le pioggie diluviano, e non trovano gli angusti mari, che dopo essere filtrate attraverso i vastissimi continenti. La salsedine degli oceani australi è uguale alla salsedine degli oceani boreali. Dunque le acque si rimescolano, si scambiano.

297. Quando si volesse pure dar valore, contro alla nostra tesi, alle accidentali differenze, che si verificano tra le acque dei diversi mari, noi coglieremo la più rimarchevole, e mostreremo come essa favorisce il nostro modo di vedere, in luogo di contrariarlo.

La differenza a cui alludo si verifica pel carbonato di calce. Quando si pensa all'enorme consumo che di questo sale fanno i crostacei, le conchiglie, i foraminiferi, e sopra tutto il mondo dei coralli, di cui parleremo nel seguente capitolo, fa meraviglia il vedere quanto esso sia scarso, in confronto degli altri sali. Le analisi del Bischof non l'indicano nemmeno nei grandi oceani. Si mostra però, benchè in tenue dose, nei mari interni. Il Mediterraneo contiene in fatti da 0,02 a 0,47, per ogni 100 parti di sostanze solide, di carbonato di calce e di magnesio. Il mar Nero contiene 2,03 di bicarbonato di calce: il mare d'Azof 0,18; il mar Caspio 2,67. La meraviglia però cessa quando si consideri, che, prescindendo dalla questione (non so quanto solubile) della sua primitiva origine, la salsedine del mare è ora mantenuta dai continenti. I continenti danno; i mari ricevono. I continenti sono i magazzeni dei sali; i fiumi e le correnti marine ne sono i dispensieri; gli animali marini i consumatori. Se la cosa non si vuole ritenere evidente pei diversi sali, è però evidentissima pel carbonato di calce. Le sorgenti incrostanti, sparse a mille a mille sulla superficie dei continenti, ne abbandonano tal copia sulla superficie stessa, che ne nascono montagne calcaree. Ma ne conservano ancora abbastanza per mandarne ricchi i fiumi in cui si gettano. Bischof riporta le analisi delle acque di 32 fiumi dei due mondi. Contansi fra questi il Reno, il Danubio, l'Elba, il Rodano, il Mississipì, il S. Lorenzo. Risulta da queste analisi, che il carbonato di calce rappresenta in media circa il 50 % delle sostanze disciolte nei fiumi. I mediterranei, soggetti al loro immediato efflusso, devono esserne più ricchi degli oceani. L'attività poi, che spiegano gli animali marini nel fissare il carbonato di

[1] *Lehrb. d. chem. u. physik. Geologie*, I. cap. 5.

calce, è ragione per cui questo sale, già scarso nei mediterranei, riesca quasi a zero negli oceani. A zero non si riduce però certamente: ogni conchiglia lo attesta. Si può dire soltanto che ne esiste il bisognevole, e nulla più, conformemente al grande principio economico della natura. Ma intanto questo bisognevole c'è, e la natura deve provvederlo costantemente, prontamente, se non vuole l'eccidio del mondo marino.

298. Ora veniamo a noi. Dove stanno i grandi consumatori del carbonato di calce? Prevenendo ciò che è materia del capitolo seguente, i grandi consumatori, cioè i banchi di corallo, con tutto il mondo animato che vi si accentra, trovansi principalmente a sud. A sud dell'equatore trovasi il gran mare dei coralli dell'Oceano Pacifico; colà sorgono le grandi fabbriche dei continenti sottomarini, di cui non sono che le cime più prominenti i vastissimi arcipelaghi corallini di Paumotu, di Tahiti, di Samoa, della Nuova Caledonia, perduti in seno al maggiore Oceano, alla maggior possibile distanza dai continenti. Se altri arcipelaghi corallini trovansi nei diversi oceani a nord dell'equatore, è però sempre vero, che le grandi formazioni di questo genere, i grandi consumatori del carbonato di calce, sono confinati entro i limiti della zona torrida, ove i continenti o svaniscono o si assottigliano, mentre i mari si allargano. Come può spiegarsi l'intrattenimento di quel mondo animato, a cui è necessario elemento il carbonato di calce, in quantità sterminata, senza ammettere il rimutarsi costantemente, prontamente, delle acque da nord a sud e viceversa? Come i continenti aggruppati nell'emisfero boreale perirebbero senza le acque dei mari, distesi nell'emisfero australe; così perirebbero i mondi animati che hanno sede nei mari australi, senza i sali forniti dai continenti boreali.

299. E come mai si stabilisce uno scambio delle acque tra i due emisferi? Questo sistema di circolazione è in parte aereo. Voglio dire che lo scambio dei vapori, in proporzioni così diverse tra i due emisferi, è già un modo di circolazione marina nel nostro senso. Le acque dei mari australi, vaporizzate in seno all'atmosfera, vanno a lavare i continenti boreali, e sono riversate dai fiumi nei mari del nord. Questi divengono, in certo senso, fiumi dei mari del sud. Ammirabile semplicità! La stessa macchina idraulica porta le acque ai continenti boreali, e i sali ai mari australi. L'Atlantico è come una gran valle, è come l'arteria principale in questo sistema di circolazione marina. Scarso relativamente di coralli, e ricco di fiumi, provvede all'Oceano Indiano o al Pacifico, poveri di fiumi e straricchi di coralli.[1]

[1] Quattro continenti, cioè l'Europa, le due Americhe e l'Africa, versano i loro grandi fiumi (tra i quali i maggiori del globo) nell'Atlantico. La sola Asia versa i suoi grandi

300. Io credo però che un vero sistema di circolazione sia stabilito immediatamente tra gli oceani dei due emisferi. Certo, prescindendo anche dalla dilatazione che il calore fa subire all'acqua sotto la zona torrida (causa principale della circolazione marina), una circolazione dovrebbe stabilirsi pel semplice fatto, che i coralli, e diciamo tutti gli abitatori del mare, sono talmente condensati sotto la zona torrida, che le zone temperate e fredde figurano al paragone come deserti. L'acqua, privata dei sali che la rendono pesante, per mezzo de' suoi abitatori sotto la zona torrida, sarebbe sostituita da quella delle zone temperate e fredde, ove c'è minor consumo di sali. Questo fatto che si verifica nei rapporti tra l'equatore e i poli nei due emisferi, si verifica pure, stante l'attuale distribuzione dei continenti e dei mari, nei rapporti tra l'emisfero australe e il boreale. Nell'emisfero australe, non essendovi terre (sempre relativamente parlando) non vi sono che i consumatori, e le acque devono continuamente, spogliate dei loro sali, farsi più leggere. Nell'emisfero boreale, al contrario, trovandosi i produttori, cioè i continenti lavati dai fiumi, le acque devono rimanere sempre più pesanti, anche supposto (il che è ben lontano dal verificarsi) lo stesso consumo. Per necessità dunque, cioè per legge idrostatica, le acque dell'emisfero australe devono passare nel boreale, e viceversa.

301. Non esistono osservazioni, che ci rechino prove di fatto? Sappiamo già da Maury che le bottiglie gettate anche molto basso a sud dell'equatore, si raccolgono a nord, lungo la corrente del golfo (§ 284). Lo stesso Maury precisa un fatto meraviglioso, che parla altamente in favore della nostra tesi. Una bottiglia, gettata da un capitano americano, nel 1837, al Capo Horn, fu raccolta sulle coste d'Irlanda! Essa deve aver seguita la corrente fredda, che rimonta dal Capo Horn all'equatore; là venne abbandonata alla corrente equatoriale, che le fece girare il golfo del Messico, donde uscì per lo stretto della Florida, portata dal Gulf-stream, che la trasse in Irlanda. L'enorme sviluppo del Sargasso dell'Atlantico (§ 286), ben maggiore di quello de' più grandi oceani, non si può supporre anch'esso prodotto da un movimento generale dell'Oceano da sud a nord? Le acque dell'Oceano Australe infatti, come più leggiere, derivando verso nord, come corrente superiore, abbandonano forse in quella specie di stagno smisurato, i legnami delle terre australi, misti a quelli delle terre boreali. Ma quando

---

fiumi negli Oceani Indiano e Pacifico. Ma la quantità delle acque versate è un nonnulla in confronto della immensità di quegli oceani. L'Atlantico dovrebbe gonfiarsi enormemente, in confronto dei due grandi oceani. Non si gonfia: dunque le sue acque devono scaricarsi nei due oceani, perchè il livello dei mari si mantenga costante. Il dire che l'Oceano Atlantico si scarica negli altri oceani, equivale al dire che le acque dell'emisfero boreale passano nell'australe.

sarà che la scienza ci offra uno studio analitico di qnella sconfinata foresta vergine natante, che ha più di un milione di miglia quadrate di estensione?

302. Ammiriamo questo grande sistema di solidarietà tra terre e terre, tra mari e mari, tra mari e terre, tra il mondo animato e l'inanimato. È un grande ordito, in cui tntti i fili dipendono l'uno dall'altro. Guai se un solo filo si spezza o anche solo si allenta! tntto l'ordito si scompone.

Lo studio della circolazione marina ci conduce a stabilire i seguenti principî, che ci serviranno per le nostre applicazioni alla geologia.

1.° Ogni corrente suppone una contro-corrente equivalente. Se ciò non fosse, l'equilibrio dell'Oceano sarebbe in breve alterato.

2.° In generale le correnti snperiori saranno calde; fredde le inferiori o sottomarine.

3.° L'eccesso della salsedine potrà distruggere l'effetto della temperatnra, e dar luogo a correnti calde inferiori e a correnti fredde snperiori.

4.° Le correnti calde movono dall'eqnatore, le fredde dai poli.

303. Tntti questi veri trovano conferma, in qnanto ci è noto, anche nel sistema parziale di circolazione dell'Atlantico. Una gran corrente calda superiore si svolge dall'equatore verso i poli: è il Gulf-stream. Questa è compensata da una corrente fredda, che viene dal polo, a cui serve di letto la baja di Baffin. Come la corrente del golfo si può definire un efflusso del mare equatoriale verso nord; così la corrente della baja di Baffin si può definire nn efflusso del mare glacialo verso snd. I viaggiatori alle regioni artiche ci riportarono come tutto il mare glaciale, coi ghiacci galleggianti, e colla ghiaccia[1] che lo incrosta, si move verso snd. Se le due correnti descritte, per le quali si compie il circolo dell'Atlantico, pur rimanendo superiori entrambe, devono sostituirsi; se deve cioè ciascnna riempire il vuoto che lascia l'altra; è necessario che l'una e l'altra finiscano col diventare inferiori. La cosa si vede snccedere, almeno parzialmente, tanto per l'nna quanto per l'altra. La corrente fredda infatti si biforca all'incontro colla corrente calda, e un ramo si stringe contro le coste degli Stati Uniti, ancora come corrente snperiore, salvo a perdersi poi sotto al Gulf-stream verso lo stretto della Florida. L'altro ramo discende tosto, incrociando la corrente del golfo, presso il banco di Terranova, come lo mostrano i numerosi ghiacci galleggianti, che vengono a perdersi nella

---

[1] Uso il termine *Ghiaccia*, col quale Dante indica la gran crosta ghiacciata del lago infernale dei traditori, capace di sopportare il peso di una montagna, per esprimere quello che gl'Inglesi chiamano *Flore*, e i Francesi *Banquise*, cioè la gran crosta di ghiaccio, che ricopre il mar Glaciale. I ghiacci galleggianti non sono che frammenti staccati dalla ghiaccia.

corrente del golfo, tratti da nord a sud. Quanto alla corrente calda, che essa discenda sotto la fredda sarebbe attestato dall'esistenza di un libero mare, cioè di un gran corpo di acqua calda, che si mantiene nel cuore delle regioni polari, al di là dell'enorme zona della ghiaccia, e di cui diremo meglio più tardi. Ma il fatto è reso evidente esso pure dai ghiacci galleggianti, che si veggono talvolta camminare da sud verso nord. La cosa può sembrar strana a prima giunta. I ghiacci galleggianti non vengono essi tutti da nord, dove hanno la culla in seno al Mare Glaciale?... Vedremo, trattando espressamente dei ghiacci polari, come i massi galleggianti siano talvolta così immani, che pescano centinaja di piedi. Supponiamo che a una certa profondità, la quale può essere poco considerevole, si trovi una corrente che scorra verso il polo. Quando un masso galleggiante, che discenda per la baja di Baffin, venisse per caso a dare nel filo della corrente inferiore, se questa vince di forza la superiore, il masso ne sarà trascinato, e ritornerà verso il polo. Or bene questa corrente esiste violentissima, e i ghiacci di ritorno al polo appunto lo attestano. Naturalmente devono essere i più enormi.

304. J. P. Griffin, narra Maury, comandante il brick Rescine nella spedizione americana alla ricerca di Franklin, navigando nella baja di Baffin contro la corrente che lo spingeva verso sud, vide venire alla sua volta, cioè contro la corrente, una montagna di ghiaccio, trascinata con tal forza verso nord, che il bastimento rimase in breve lungo tratto addietro. Riporta lo stesso Maury un altro fatto che si legge nella narrazione che il capitano baleniere Duncan pubblicò del suo viaggio alle artiche regioni. Egli narra che il 14 dicembre 1826 era spettacolo terribile il vedere come immense montagne di ghiaccio correvano verso nord-est attraverso la ghiaccia così fitta, che non lasciava apparire una goccia di acqua. Più tardi narra come il 23 febbrajo una montagna di ghiaccio, scorta fin dalla vigilia avanzarsi da sud, giunse presso al bastimento, che si trovava presso un lembo della ghiaccia. Questa spezzossi, sopra uno spazio di parecchie miglia, con tale fracasso, da imitare un terremoto, ovvero una salva di cento cannoni di grosso calibro. La ghiaccia o il naviglio con essa venivano tratti, con mossa furiosa, dalla montagna galleggiante, sicchè pareva inevitabile la perdita del bastimento. Ma il 24 febbrajo il bastimento era libero, e la montagna di ghiaccio si avanzava, sempre colla stessa rapidità, verso nord-est, finchè fu perduta di vista.

305. L'esistenza di questa corrente inferiore, indubbiamente calda, perchè viene da sud, e perchè sola può dar ragione della esistenza di un libero mare, cioè di un mare caldo verso l'82° di latitudine, non si può spiegare altrimenti, se non ammettendo tale la sua densità, che debba di-

scendere sotto la corrente fredda, ad onta della sua calda temperatura. Sappiamo d'altronde come la densità dell'acqua si trova aumentare continuamente, partendo dall'equatore verso le latitudini medie, tanto a nord quanto a sud. Secondo Marié Davy il massimo di densità si verifica pel Nord-Atlantico verso il 66° latitudine. Lo stesso autore [1] calcola l'aumento di circa 5 chilogr. per ogni metro cubo di acqua, che si porti dall'equatore alle latitudini medie. Quando si rifletta, che le acque derivanti dal mar glaciale sono piuttosto salmastre che salate, si intenderà facilmente il disequilibrio che deve verificarsi tra le acque che vengono da nord, e quelle che derivano da sud, incontrandosi probabilmente verso il 66° di latitudine. L'acqua che deriva da sud, al suo maximum di densità, deve precipitarsi colla violenza di una caterratta sotto l'acqua che deriva da nord e dar luogo ai fenomeni descritti. La densità in questo caso elide l'effetto della dilatazione, prodotta dalla temperatura; anzi l'acqua diventa più pesante per la concentrazione dei sali, che non divenga più leggiera pel riscaldamento.

306. Non tutte però le correnti marine possono riferirsi al gran sistema della circolazione oceanica. Come vi hanno mussoni, tempeste, brezze di terra e di mare, che sono una deviazione della circolazione atmosferica, così v' hanno correnti parziali che sono una deviazione della circolazione oceanica. Nella categoria di tali correnti eccezionali sono da porsi, p. es., le due valide correnti, di cui l'una entra nel Mar Rosso, l'altra nel Mediterraneo per lo stretto di Gibilterra. L'evaporazione enorme di quei due bacini, non bilanciata dalle pioggie, abbassandone il livello, determina necessariamente un afflusso dell'Oceano. Robustissima è talora la corrente del Mediterraneo. Nel 1855 molte navi für viste per forse tre mesi impossibilitate a passare per lo stretto di Gibilterra nell'Atlantico. Tale corrente trova un raffronto nei venti impetuosi, che imperversano sulle coste dell'Africa, quando l'aria infuocata, levandosi dai deserti, richiama altra aria dalla circostante atmosfera, che la rimpiazzi.

307. Sono due le cause, l'una subordinata all'altra, ma cooperanti allo stesso scopo, che determinano una corrente oceanica ad entrare in un bacino interno, dove l'evaporazione superi la concentrazione dei vapori. La prima causa è il dislivello, prodotto dalla evaporazione sulla superficie del bacino. Ma l'evaporazione stessa, condensando i sali nel bacino, determina l'altra causa, cioè la rottura d'equilibrio, tra l'acqua più pesante del bacino, e la più leggiera dell'oceano. Quella dovrà sfuggire sotto questa, e questa entrare sopra quella, per la ragione stessa che,

[1] *Météorologie*, pag. 132.

messi in communicazione due vasi l' uno d' aceto, l' altro d' olio, quello sfuggirebbe per di sotto a questo, e questo si avanzerebbe per di sopra a quello. La corrente che entra devo dunque rimediare al dislivello, che avviene per doppia ragione, supplendo alla quantità d' acqua che esce dal bacino, tanto per l' evaporazione quanto per la formazione di una corrente inferiore. Siccome però la corrente che entra, porta nel bacino una quantità di sale, corrispondente a quella quantità di acqua che esce non salata per evaporazione; perchè la salsedine del bacino non cresca progressivamente, bisognerà che la corrente inferiore scarichi anche quella quantità di sale che rimarrebbe altrimenti in eccesso. È facile ammettere che ciò avvenga, quando si pensi che l' acqua, mano mano che si condensa alla superficie evaporante, si precipita sul fondo, e deve essere là precisamente che intrattiene la corrente inferiore. Sempre inteso che il bacino interno communichi liberamente coll' oceano, e vi si apra, come una valle nel piano. Supponiamo che nel Mediterraneo svaporino 100 metri cubici di acqua contenente il 3 per 100 di sali (nel Mediterraneo si calcola il 3,7 per 100): rimarrà un eccesso di salsedine, corrispondente a 3 metri cubici di sale. Perchè il grado di salsedine non rimanga alterato nel bacino, basterà che sortano, come corrente inferiore, 50 metri cubici di acqua, contenente 4 $^{1}/_{2}$ metri cubici di sale, la cui salsedine cioè sia di 9 per 100. Intanto 150 metri cubici di acqua che entrino dall' oceano, ripristinano lo *statu quo*, cioè stabiliscono il primitivo livello, senza aumentare nè diminuire il grado di salsedine. Lo *statu quo*, che si mantiene difatti nel Mediterraneo e nel Mar Rosso, dice che essi sono appunto soggetti al regime di compensazione descritto. Secondo i calcoli di Buist, il Mar Rosso, contenendo il 4 per 100 di sale in peso, in 3000 anni dovrebbe tramutarsi in un banco di sale. Ma da oltre 3000 anni che si conosce il Mar Rosso la cosa, dice Maury, non si è verificata, dunque vi sono correnti inferiori, che scaricano l' eccesso del sale. Si ripeta lo stesso raziocinio pel Mediterraneo. Ma per questo mare interno esistono prove di fatto dell' esistenza della contro-corrente inferiore, che si scarica nell'Atlantico, per lo stretto di Gibilterra.

308. Sappiamo primieramente che l'acqua, attinta da Wollaston alla profondità di 660 braccia entro lo stretto, era quattro volte più salata dell' acqua marina ordinaria. Esiste dunque nelle profondità quell' acqua salata in eccesso, che deve necessariamente sfuggire come corrente inferiore, per la legge della gravità. E si osservi che la potenza della corrente, destinata a scaricare i sali in eccesso, sarebbe in realtà molto minore di quella che le abbiamo supposta testè. In luogo dei 50 metri cubici supposti, per scaricare i sali lasciati dall'evaporazione di 100 metri cubici di

acqua, bastano circa 33 metri cubici di acqua, contenente 4 metri cubici di sale, cioè il quadruplo della quantità ordinaria, appunto quanto ne conteneva l'acqua attinta da Wollaston. Per mantenere lo *statu quo* basterà che l'Oceano vi affluisca per una quantità di 133 metri cubici di acqua, invece dei 150 supposti; il che vuol dire che la contro-corrente inferiore del Mediterraneo starebbe alla corrente superiore come 33 a 133; quella cioè avrebbe $^1/_4$ circa della potenza di questa.

Ma la contro-corrente del Mediterraneo fu scoperta come esistente realmente. Il seguente fatto è riportato da Maury. Un marinajo, a bordo di una fregata, trovandosi nella scialuppa, fu trascinato nel mezzo della corrente che entra dallo stretto di Gibilterra. Avendo calato un secchio, con entro una palla da cannone, a una certa profondità, la scialuppa si arrestò. Lasciando calare il secchio più profondamente, la scialuppa fu trascinata contro corrente [1]. La corrente inferiore, che qui si rivela così evidente, non si trovava che alla profondità di quattro o cinque braccia, e la sua velocità, minima superiormente (certo per l'attrito contro la corrente superiore), cresceva colla profondità. Maury riporta pure il fatto, narrato dal dott. Hudson, di un vascello olandese, che, attaccato e calato a fondo tra Tariffa e Tangeri, ritornò a galla alcuni giorni dopo, quattro leghe più a ovest del luogo in cui si era sommerso.

309. Si può obbiettare (se le obbiezioni hanno un valore contro i fatti), che lo stretto di Gibilterra è troppo poco profondo per dar luogo allo scambio tra le due correnti: ma la profondità di 300 a 400 metri, riconosciuta nello stretto, è più che sufficente allo scambio, non di due, ma di dieci correnti. La difficoltà nel caso sta in ciò che lo stretto è assai meno profondo del Mediterraneo, il quale avrebbe davanti ad esso una profondità di 900 braccia (metri 1646,10). Lo stretto adunque si leverebbe come una barriera, e le acque dovrebbero stagnare sul fondo del Mediterraneo, convertendosi a poco a poco, come pensava il Lyell, in un banco di sale. Ma, se questa ragione fosse buona, anche i nostri laghi alpini dovrebbero convertirsi in banchi di sale (ben inteso che le acque non si dicono dolci che relativamente). Di fatti i nostri laghi hanno degli emissari di qualche metro di profondità, mentre i loro bacini si sprofondano 300 metri, come è il caso del lago di Como, e fino 800 metri, come si verifica del lago di

[1] Non v'ha contraddizione in ciò che la contro-corrente vinca la corrente superiore, pur non avendone al massimo che il $^1/_4$ della potenza. La forza meccanica di una corrente, in un dato punto, non è in proporzione della massa totale di essa corrente, ma in ragione diretta della densità del liquido, della ripidezza del pendio e dell'altezza della colonna in quel punto. L'acqua della contro-corrente inferiore è assai più densa di quella della corrente superiore: oltre a ciò la contro-corrente è probabilmente angusta e profonda.

Garda. L'esistenza di una barriera non impedisce dunque nè lo scambio delle correnti, nè, comunque avvenga, il rimutamento delle acque in tutta la profondità del bacino. Maury aggiunge un'altra ragione. Se una barriera impedisse il corso delle acque inferiormente al labbro della barriera stessa, nessuno dei grandi fiumi, che sboccano in mare, avrebbe corso, eccetto alla superficie. Abbiamo veduto infatti come allo sbocco dei fiumi in mare si formi una barriera, che si chiama *barra di foce*. Si sa invece che il moto delle acque si verifica nei fiumi anche sul fondo. Il Missisipi, p. es., la cui barra di foce è tanto sviluppata, da rendervi assai malagevole l'ingresso delle navi, si move benissimo, come lo attestano i recenti studî di Humphreys e Abbot, per tutta l'altezza della sua corrente, sicchè il detrito viene continuamente trascinato sul fondo fino al mare. Una barriera dunque non impedisce nemmeno l'esistenza di una corrente sul fondo di un bacino, e il Mediterraneo può benissimo rimontare la sua barriera, come rimonta il Missisipì la sua barra di foce.

810. Il grande sistema della circolazione oceanica è uno dei più validi fattori dell'economia del globo. Molteplici e grandiosi ne sono gli effetti, e possono distinguersi in *fisici*, *fisiologici*, *chimici* e *meccanici*. Il primo e il principale tra gli effetti fisici consiste nella distribuzione della temperatura. Abbiam detto, parlando della distribuzione del calorico per mezzo dei venti, che la posizione della terra e i suoi moti per rapporto al sole, principale sorgente del calorico, non sono tali da procurare equa distribuzione sulla superficie della terra. Lo abbiam detto allora per rapporto specialmente alla superficie continentale, e lo ripetiamo ora per riguardo all'oceano. Le correnti marine esercitano, per rapporto ai mari, l'ufficio stesso che le correnti atmosferiche per rapporto alle terre. Supponiamo infatti l'oceano stagnante: esso (come l'atmosfera nello stesso supposto) riescirebbe diviso, per rapporto alla temperatura, in tre zone: una d'acqua bollente, e due di ghiaccio. Per quanto s'abbia a pigliare moderatamente una tale asserzione, nel fondo sta: sarebbe estesissimo il dominio delle temperature eccessive; quasi nullo quello delle temperature moderate. Le correnti tendono a stabilire l'equilibrio, e tramutando, per dir così, continuamente gli eccessi opposti, riscaldano le fredde regioni, e le calde rinfrescano. Il sistema generale della circolazione fa che le acque calde dell'equatore si portino a riscaldare i mari polari; mentre le fredde acque polari vengono a rinfrescare i mari equatoriali. Alle variazioni, dipendenti dall'orografia, rispondono poi variazioni nella temperatura delle regioni oceaniche.

811. Ma la distribuzione del calore, per effetto delle correnti marine, non si verifica soltanto in seno alle acque. È meritevole di molta conside-

razione il fatto che l'influenza delle correnti marine è sensibilissima anche sui continenti.

Il Gulf-stream si serba anche qui quasi come assaggio di tale grandioso sistema economico. Maury paragona assai bene il sistema del Gulf-stream ad uno di quegli apparati di *stufa a vapore*, che si vanno adottando per riscaldamento degli edificî grandiosi. La zona torrida dell'Atlantico sarebbe, nel nostro caso, il fornello; il golfo del Messico la caldaja; la corrente del golfo il tubo conduttore; l'Europa settentrionale l'appartamento da riscaldarsi; la corrente artica funziona a mo' di tubo, che riconduce l'acqua fredda alla caldaja. Si confronti il clima dell'Inghilterra con quello del Labrador, terra di ghiacci sotto la identica latitudine: si confronti la rada di San Giovanni (Terra Nuova), agghiacciata in giugno, col porto di Liverpool, posto due gradi più a nord, che non si vide mai ghiacciato, nemmeno nel più rigido inverno. La linea isotermica di 10° centigradi, che parte dal 40° di latitudine settentrionale agli Stati Uniti, si trova a 66° di latitudine sulle coste d'Europa. Gli stessi fatti che provano il riscaldamento delle coste d'Europa, confermano, per ragione inversa, il rinfrescamento delle coste degli Stati Uniti. La temperatura, che alla superficie del Gulf-stream fu trovata di 26°,7 centigradi, era, inferiormente, di 1°,7 centigradi. Ammiriamo questo grande sistema di cause e di effetti, che lega e condiziona ogni parte al tutto, o il tutto ad ogni singola parte. Se abbiam detto, che la costituzione di ogni singola regione è vincolata alla costituzione delle altre tutte, ora possiam dire che ogni lembo di terra è condizionato ad ogni plaga di mare; che le terre e i mari sono fra loro stretti da così necessari rapporti, che non può modificarsi un atomo delle une o degli altri, senza che ne risenta il sistema del globo.

312. Gli effetti fisiologici sono molteplici, e si raccomandano singolarmente all'attenzione del paleontologo. Il primo consiste nella distribuzione dei due elementi più necessarî alla vita, l'ossigeno e l'alimento. Il regno animale è singolarmente stazionario in mare. Quelle miriadi di conchiglie, principalmente delle classi dei gasteropodi e degli acefali, sono sprovvedute o mal provviste di mezzi alla locomozione; l'universo dei coralli attende nella vastità dell'oceano la goccia d'acqua che porti nelle fauci sempre spalancate il corpuscolo alimentare. Se l'oceano stagnasse, l'ossigeno dell'acqua e l'alimento sarebbero in breve esausti da quegli animali stazionarî. Facili le conseguenze a dedursi.

Il secondo effetto fisiologico lo vorremmo tradotto colle parole *universalizzazione della vita*. Gli animali e le piante, quali costituiscono l'attuale natura vivente, benchè distribuiti e creati per le diverse zone calde, temperate e fredde, non potrebbero tollerare le eccessive temperature che

sarebbero una conseguenza del ristagno dell'Oceano. Difficile sarebbe l'assegnare, nell' ipotesi, una stazione abitabile agli attuali viventi; ma ad ogni modo tali stazioni sarebbero estremamente limitate, e l' Oceano diverrebbe un immenso regno di morte. Sta invece il fatto che la vita è meravigliosamente universalizzata. Come ogni foglia è una colonia, così ogni stilla d'acqua è un piccolo mondo. Esuberante al parossismo la vita sotto la zona torrida, non è spenta nelle più interne regioni polari. Ciò è il frutto delle correnti marine, ed è un effetto fisiologico, conseguente all'effetto fisico della distribuzione della temperatura.

313. Un fatto basti per tutti. Se una corrente superiore fredda esce dalla baja di Baffin, una contro-corrente inferiormente deve entrarvi. Che v' entri di fatto fu già provato. La densità, dovuta al concentramento del sale, può elidere l'effetto della dilatazione, prodotta dalla temperatura, e la corrente inferiore può essere calda, e andare in questo caso a riscaldare le estreme regioni dei poli. Mentre la barriera degli eterni ghiacci, che separa i due emisferi a nord, fu, non atterrata, ma solo scavalcata recentemente dall'uomo con sforzi miracolosi, gli abitatori delle onde nuotano liberamente, padroni dell'uno e dell'altro. La *balena franca* della Groenlandia e della baja di Baffin è la stessa specie di quella del Nord-Pacifico e dello Stretto di Behring. Perchè non rimanesse nessun dubbio sul valore di questo fatto, in quanto ci fornisce una prova della communicazione a nord tra l'Atlantico e il Pacifico, si pescarono balene nello stretto di Behring, che portavano, infissi nelle loro carni, i ramponi, coi quali erano state ferite nella baja di Baffin. I balenieri sogliono marcare i loro ramponi colla data e col nome del bastimento [1]. Un mare aperto, cioè spoglio di ghiacci, già dalla scienza divinato, fu difatti scoperto in vicinanza al polo. Kane, attraversata una barriera di ghiaccio, della larghezza di 80 a 100 miglia, e dello spessore di forse 100 piedi, trovossi in riva ad un libero mare, oltre l' 82° di latitudine, e dimorovvi 9 mesi. Ad una temperatura ambiente di — 46° centigradi, l'acqua vi conservava + 2°,26. Le regolari maree attestavano l'ampiezza di quel mare, cinto da ghiacci eterni: le foche scherzavano nelle onde tiepide, e a stormi gli uccelli acquatici vi si tuffavano. L'ardito navigatore vi trovò a sufficienza di che nutrire i suoi compagni [2].

[1] MAURY, *Géogr.*, § 473.

[2] Un passo dell'opera di Kane (Art. *Explorations*) riportato da Hayes, dice più precisamente, che il mare libero fu scoperto il 20 giugno 1854 da Morton, compagno di Kane, che si spinse fino al Capo Constitution, punto della Groenlandia più avanzato verso Nord, un po' sotto l'81°. Il mare però si innoltrava verso Nord a perdita d'occhi. La temperatura dell' acqua era di 4° sopra il punto di congelazione. Nessuno si ricordava d' aver mai visto altrove un numero così grande di uccelli. Sulle rive di quel mare si colsero fiori e frutti.

Era il luogo dove uno dei tubi caloriferi della grande stufa riversava l'acqua nel tubo destinato a ricondurre l'acqua fredda alla caldaja.

314. Fu detto, che la differenza tra lo sviluppo dei due segmenti glaciali (il segmento artico non misurerebbe che un sesto dell'antartico) dipenda dalla sproporzione delle terre nei due emisferi, intendendosi di dire che il calore radiante dalle terre fosse cagione del minore sviluppo dei ghiacci al polo artico. La sproporzione delle terre è indubbiamente cagione della sproporzione dei ghiacci; ma in senso diverso da quello accennato. Le terre nelle alte latitudini agiscono come condensatori, quindi come superfici refrigeranti. Scoresby al 75° di latitudine nell'isola Melville aveva una temperatura di — 18° 5', mentre sotto il 70° in alto mare aveva soltanto — 8° 3'. Il segmento glaciale artico dovrebbe dunque essere assai più esteso del segmento antartico. La ragione del contrario che si verifica, non sta dunque nella estensione dei continenti, ma nella estensione dei mari che ne è la conseguenza. L'equatore è l'enorme caldaia, che riversa una quantità determinata di acqua calda, tanto a sud quanto a nord. Ma quell'acqua calda va a perdersi nell'immenso Oceano Antartico, mentre a nord si raccoglie piuttosto nei seni relativamente angusti, di cui si compone l'Oceano Artico. L'Oceano Artico risulterà quindi più caldo dell'Antartico. Gli è come se si versasse un ettolitro d'acqua bollente in un tino che contiene dieci ettolitri d'acqua gelata, e un altro ettolitro in un tino che ne contenga venti.

315. Un terzo effetto d'ordine fisiologico si oppone, per dir così, al precedente. Parlo del fenomeno dell'*accantonamento delle faune*. L'accantonamento delle faune e delle flore, cioè degli animali e delle piante, è un carattere marcatissimo della attuale animalizzazione del globo[1]. La stessa divisione delle faune in tropicali, temperate e glaciali, è basata sul fatto che gli animali marini sono distribuiti per zone e per località entro limiti relativamente angusti. Le correnti, mentre universalizzano la vita, confinano i viventi. Prendiamo anche qui un solo fatto. Tre specie di balene sono, per dir così, regine del tripartito Oceano: la *balena franca artica, la balena franca antartica*, la *balena della zona torrida* o *capodoglio* (*cachâlot*). Nessuna può invadere i confini dell'altra, pena la morte. Ma non i paralleli, bensì le correnti limitano le tre zone. La corrente del golfo attraverso l'atlantico è sbarra infrangibile alla balena franca artica; ma le meduse dei tropici possono, seguendo la calda corrente, spingersi verso le regioni polari ad alimento della balena. Secondo le osservazioni di A.

[1] Stoppani, *Dei precipui fatti della Paleontologia*, nei volumi XIX e XX del *Politecnico*.

d'Orbigny [1] la fauna tropicale dell'Atlantico guadagna a sud dell'equatore quasi 700 miglia, in confronto della fauna tropicale dell'oceano Pacifico. La ragione si è che una corrente calda rade le coste atlantiche dell'America meridionale, mentre una fredda bagna le coste della stessa verso il Pacifico.

316. Accennerò appena il quarto effetto, d'ordine fisiologico, che consiste nella *propagazione delle flore*. È da molti studî accertato, che le piante poterono diffondersi sulle isole e sulle coste, attraverso i mari, mediante i semi, o le piante stesse flnitate dalle correnti marine.

317. Degli *effetti chimici* delle correnti marine dirò semplicemente, essere provato che l'acqua delle diverse correnti gode di proprietà fisiche e chimiche differenti. Il diverso grado di erosione del cuoio e dei metalli, secondo che un bastimento naviga l'una piuttosto che l'altra corrente, attesta la diversità dell'azione chimica. Ma siamo in un campo ancora pressochè inesplorato.

318. Gli *effetti meccanici* sono qui espressi sommariamente:

1.° Le correnti marine, dove radono la sponda o toccano il fondo, sono capaci di movere ed esportare fanghiglie, e qualche volta sabbie.

2.° Esse sono pure non spregevoli ausiliarî dell'azione dei venti. O corrono con loro, e più poderoso sarà l'impeto dell'acqua, mossa dalle due forze associate; o loro si oppongono, e il cozzo che ne risulta sàra terribile. Attesta Maury che l'altezza delle onde e i furori del mare sono indescrivibili, quando la tempesta infuria a ritroso della corrente del golfo. Non omettiamo il fatto, che i disequilibrî di temperatura, portati dal distendersi di un lago di acqua calda, largo 5556 chilometri, tra due oceani d'acqua fredda, attirano sul Gulf-stream le più orribili tempeste, singolarmente i *cicloni* o *tempeste giranti*, che ne seguono il giro vorticoso (§ 135).

3.° Influiscono assai sulla deltazione allo sbocco delle correnti di terra come meglio vedremo.

4.° Sono forse i principali fattori dell'espandersi dei sedimenti nelle profondità oceaniche. Dietro alcune esperienze di Lyell sul lento deporsi delle finissime polveri, le fanghiglie e i foraminiferi potrebbero, in sospensione entro una corrente marina, attingere qualunque profondità e distanza oceanica.

---

[1] *Cours élém. de géologie stratigraphique.*

CAPITOLO X.

DELLE FORZE BIOLOGICHE NELL'ECONOMIA DEL GLOBO E SPECIALMENTE DEI BANCHI DI CORALLO.

319. Abbiamo detto nel capitolo precedente, che un legame indissolubile di solidarietà vincola fra loro il mondo inorganico e l'organico: la materia e la vita. Così è. Le piante e gli animali noi li consideriamo piuttosto come godenti di quell'ordine mirabile, di quel sistema d'equilibrio, di compensazione, che vedesi appunto ordinato a intrattenere e favorire la vegetazione e l'animalizzazione. Forse non ci cadde in mente giammai, che i viventi fossero essi medesimi ordinati a stabilire quell'equilibrio, quell'ordine, quell'economia, di cui essi primi godrebbero. È sotto questo rapporto che noi consideriamo le forze biologiche. Anch'esse sono ordinate ad esercitare sul globo un'influenza, a intrattenere in movimento quel circolo meraviglioso, quel mobile equilibrio, per cui si conciliano l'unità colla varietà, l'immutabilità colle vicende perpetue, nel sistema dell'universo. Il solo fatto volgarissimo, a cui già accennammo (§ 82), della respirazione degli animali e delle piante attesta quanta parte abbiano i viventi nell'economia del globo.

Questa parte dev'essere immensa; ma il tentativo d'una sintesi delle forze biologiche sotto questo rapporto non fu fatto ancora. Bisognerà quindi accontentarci di fatti parziali, arrestandoci principalmente all'immensa formazione corallina, la quale rende più sensibili, personifica in certo modo, gli effetti della attività vitale, in quanto bilancia l'azione opposta degli agenti tellurici, considerata essa pure ne' suoi effetti più grandiosi.

320. L'animalizzazione è un fatto per la terra, oso dire, così generale, come l'aria, come la luce. Tutto brulica nell'aria e sulla terra asciutta. Ma la vita in eccesso è nell'acqua: il mare si può dire il regno delle forze biologiche. Le stesse *pioggie di sangue*, ossia di organismi microscopici (§ 62), sono derivate dalle acque. I deserti d'America, convertiti alternativamente in stagni, e la polvere delle nostre vie, bagnata dalla piog-

gia, maturano quella miriade di enti, che nella siccità i venti turbinosi sollevano nelle nubi.

L'animalizzazione del mare è piuttosto il soggetto d'una lirica, che d'una prosa. Non sono però i nostri mari che ci possono dare un'idea dell'immenso sviluppo della vita in seno all'oceano. Il regno della vita marina è la zona torrida, ove tutto è vita.

321. « Tuffarsi nel liquido cristallo dell'Oceano Indiano, dice Schleiden [1], gli è come trovarsi d'improvviso entro i regni dei più meravigliosi incantesimi, delle realizzazioni più splendide. Immagini sbiadite sono al confronto le meraviglie che vagheggiammo bambini nei racconti delle fate, o ci si pinsero più tardi nei sogni dorati della giovinezza. Entro il liquido misterioso impero, le cose più strane, le più meravigliose sorprese, si rimutano a ogni piè sospinto. Qui fantastici cespugli sono coperti di fiori vivi: là meandrine e astree magnifiche oppongono lobi massicci alle explanarie, che sciorinano i calici frondosi. Più lungi le madrepore, dai rami intrecciati, dalle dita espanse, talora si elevano come tronchi aggruppati, talora slanciano nei liberi spazî gli svelti rami. Ovunque è un bagliore, uno scintillare, un riflettersi di colori. I verdi più teneri e più vivi sono qua e là stemprati a fianco dei gialli più ricchi, dei bruni più trasparenti. La porpora, in tutti i toni possibili, il vermiglio con tutte le possibili gradazioni, sfumano armoniosamente nei bleu più cupi e più vaporosi. Le nullipore, tessute di roso e d'oro, o a screzî sfumati, come il frutto saporito del pesco, si spiccano dai vegetali scoloriti, cui rivestono con tanta grazia. Le retepore intanto, folleggiando loro d'attorno in festoni d'avorio capricciosamente ricciuti, le adornano di vezzi di perle, in cui si specchia l'iride tremolante. Al pelo dell'onda, che mollemente le culla, le gorgonie agitano il loro ventaglio giallo, o violetto, lavoro più artistico di un tessuto di filigrana. La sabbia del fondo è seminata di ricci e di stelle di mare, dalle forme più bizzarre e curiose, a mille a mille. Le flustre, come le foglie, e le escare, come i muschi e i licheni, tappezzano le diramazioni dei canali sottomarini, mentre le patelle gialle, verdi, chiazzate di porpora, si arrampicano furtive sulle loro frondi. Simili a fiori giganteschi d'impossibili *cactus*, dipinti coi colori più ardenti, le ghirlande tentacolari degli anemoni di mare adornano fieramente gli scogli spezzati dalla tempesta, o più modeste si adagiano a coprire il fondo delle acque d'un tappeto smaltato, come un letto di ranuncoli. Come macchietta che animi quel paesaggio di coralli, eccovi il colibrì dell'oceano, vago pesciolino, sulla cui maglia lucente alternansi con vece assidua il minio, l'azzurro, l'oro, lo smeraldo e il più puro argento: oh! come gio-

[1] Questo stupendo passo di Schleiden è riportato da Maury, *Géog.*, XII, § 673.

joso folleggia e ronza sotto gli incantevoli pergolati di quelle rogioni inesplorate!

» Leggieri come lo spirito de' liquidi abissi, tinte di bianco e di azzurro, le fragili campanelle delle fisalie flnttnano negli spazî di quel mondo fatato. La isabella violetta, verdo, dorata e lucente, contende la preda alla civettina aranciata, nera, picchiettata di vermiglio. Le bende del mare, strisciando come le serpi, marezzate come nastri d'argento a riflessi rosei e cilestrini, attraversano, come folgori, le plaghe trasparenti, e si dileguano nel fitto di una macchia. — Ecccovi la favolosa sepia, ammantata dei colori, delle sfumature dell'iride, che brillano a luogo a luogo sul suo corpo, dlvisi in campi a contorni indefiniti. La sepia va, viene, appare, scompare, si mischia coi gruppi di pesci, poi li abbandona, por incrociarli di nuovo in tntte le direzioni e lasciarli ancora. La sua corsa vagabonda, tntta sorprese, impreveduta sempre, tracciata con rapidità meravigliosa dagli effetti di lnce e di ombra, che cambiano a ogni alito di brezza, a ogni ondnlazione morbidissima del mare, è veramente indescrivibile.

» Quando il giorno si spegne, e i veli della notte si distendono sulle acque, qnei giardini fatati rifulgono di novelli splendori. Milioni e milioni di scintille danzano nella oscurità. Sono meduse e crostacei microscopici, erranti per le acqne, come le lucciole per la campagna. Le gorgonie, che amano far mostra, durante il giorno, del cinabro pomposo, divengono allora verdastre, fosforescenti, luminose. Ogni antro ba la sua lucerna, ogni punto prominente il suo faro. Qnei recessi, che, alla luce del giorno, appannati e indecisi, non richiamavano lo sguardo di nessuno, dardeggian nolle ombre i loro fuochi varicolori in fasci abbaglianti. A coronare gl'innumerevoli prestigî di qnelle notti, così piene di fascini, nelle profondità sconfinate dell'Oceano Indiano, i popoli delle acqne veggono navigar maestosa il loro firmamento, seminato di stelle, una febea marina. Qnesta lnna di nnova stampa, come l'astro delle notti terrestri, ba il suo disco d'argento, abbastanza largo e luminoso per soddisfare al sublime sno cómpito. Gli nomini non la conoscono che come nn pesce del diametro di sei piedi, e la chiamano col nome brillante e poetico di *Orthagoriscus mola* [1] ».

322. Ma non sono i mostri marini, e nemmeno qnelle miriadi di animali visibili, descritti da Schleiden, che ci possono dare un'idea adequata dello sviluppo della vita in seno all'oceano. Gli infusorî, i foraminiferi, le diatomee, gli *infinitamente piccoli* insomma, sono qnolli che realizzano l'ideale della potenza, della universalità della vita, mostrandoci, per dir così, la vita legata ad ogni atomo dell'universo. Ebremberg calcola che si for-

[1] L' *Orthagoriscus mola* è conosciuto volgarmente sotto il nome di *pesce luna*.

mano annualmente 18000 piedi cubici di organismi silicei nella baja di Wismar sulle coste del Baltico. Lo stesso avviene su tutti i fondi fangosi. Il fondo dell'Atlantico, tra l'Irlanda e la Nuova Finlandia (1300 miglia), è coperto di rizopodi calcarei, i quali compongono, secondo Huxley, l'85 p. % di quei fanghi. Siccome il capitano Daymann trovò lo stesso fondo presso le Azzorre, 600 miglia più a sud, quel gran deposito di organismi calcarei avrebbe una estensione di forse 780000 miglia quadrate. Ehrenberg vi distinse 85 specie di rizopodi calcarei, 16 di policistine, 17 di diatomee. Partendo dalla Florida, e alzandoci verso nord, lo stesso fondo organico si scopre tra i 90 e i 1500 piedi di profondità. Ma che giova specializzare? Il fondo dell'Oceano è tutto così composto. Nell'Atlantico come nel Pacifico, sotto i tropici come al Kamtschatka, si verifica lo stesso fenomeno [1]. Se il fondo dell'Oceano è, come lo chiama Maury, l'immenso cimitero, ove scendono a riposo quelle generazioni infinite che già soddisfecero al loro mandato; la fosforescenza marina, appena accennata da Schleiden, ci mostra come ogni stilla è un mondo, ove le generazioni viventi si agitano, intente senza posa a un grande lavoro, di cui la scienza comincia appena a comprendere il magistero.

323. È noto come la fosforescenza, che rende luminosi gli oceani nelle notti di calma, è prodotta dagli animali fosforescenti, specialmente dalle *nottiluche*, animaletti microscopici. Si trovò, dice Quatrefage, che l'acqua fosforescente, era composta per $^1/_7$, per $^1/_3$, e fin talvolta per una metà, di quegli organismi [2].

324. Ora riflettiamo così. Ogni animale a respirazione aerea, chiuso in angusto ambiente, in breve apporta all'ambiente stesso una modificazione, o, meglio direbbesi, una trasformazione. Così un animale acquatico, chiuso in piccolo vaso, modifica in breve l'acqua da cui attinge aria per respirare e sostanze per alimentarsi. Se ogni stilla d'acqua è, come si suol dire, un piccolo mondo, ogni stilla d'acqua deve essere continuamente modificata, trasformata. Dunque l'immenso oceano, che copre tre quarti della terra, dev'essere di continuo modificato, trasformato.

325. Suppongasi l'equilibrio perfetto. Un solo atomo salino, sottratto da una conchiglia ad una stilla d'acqua, lo rompe necessariamente. Quella stilla è fatta più leggiera e per ciò solo tutto l'oceano è in moto. Ecco un agente perturbatore, la cui attività va misurata coll'immenso sviluppo degli organismi secretori abitanti l'oceano.

326. Già per ciò solo vediamo le conchiglie e i coralli agire, nella grande

---

[1] DANA, *Manuale*, pag. 612.

[2] *Annales des Sc. Nat.*, III sér. tom. XIV, 1850.

economia cosmica, come antagonisti de' venti. Questi concentrano l'acqua alla superficie, per l'evaporazione; l'acqua, salata in eccesso, precipita al fondo; il corallo, la conchiglia, le tolgono il soverchio; e l'acqua, alleggerita, monta a galla di nuovo. Dall'antagonismo l'equilibrio in natura.

Se dall'opposto agire dei venti e degli organismi ha origine un continuo moto di saliscendi che rimesta l'acqua dalla superficie al fondo, è da prevedersi, che il sistema delle correnti orizzontali sia pur esso dalle forze biologiche profondamente influenzato.

327. Il supposto è di Maury, il quale non l'appoggia che ad un solo esempio probabile. Se vi ricorda, una corrente sottomarina calda si porta al polo artico. Per effetto della concentrazione, l'acqua a + 32°, può discendere sotto l'acqua a 2° (§ 305). Ma come ascende poi per formare il libero mare del polo (§ 305)? Maury è d' avviso che il meccanismo è affidato appunto a quelle miriadi di viventi, che popolano il fondo del mare. I polipai, le conchiglie, i foraminiferi, si impossessano di quelle sostanze, che danno tanta densità alla corrente calda sottomarina. Questa, cessata la ragione che la tratteneva sotto le freddissime acque dell' oceano artico, e obbedendo unicamente alle leggi idrostatiche che agiscono in rapporto alla temperatura, emerge a galla, formando un mare d'acqua calda in seno ad un oceano gelato. Ecco in qual modo ritiene Maury che gli animali abbiano anche una grande influenza sul clima delle diverse regioni.

328. I bacini mediterranei si convertirebbero in banchi di sale se non fossero compensati dalle correnti oceaniche. Ma da che l' oceano è compensato, mentre di continuo vi si versano sostanze solide e disciolte di cui nulla riporta l'evaporazione? I polipi, le conchiglie agiscono anche qui come compensatori, fissano i sali o ne purificano l' acqua. Novi continenti si preparano così nell' oceano purchè duri in avvenire la vicenda dei continenti e dei mari, cui la geologia mette pel passato in tanta evidenza.

Tutto questo merita d' essere rischiarato con un esempio, e grandioso ce lo offrono i zoofiti, detti anche polipi o coralli.

329. I banchi di corallo sono, per così dire, la sintesi pratica delle forze biologiche. Per la loro fissità, solidità, modo di riproduzione, pel loro enorme sviluppo, per il loro accentramento, acquistano un' importanza geologica di primo ordine. Per la loro mole e stabilità possono dirsi le piramidi della natura; per la loro funzione di misuratori delle oscillazioni del globo, possono dirsene gli obelischi, come più tardi vedremo.

330. La geologia distingue i polipi in isolati e aggregati. Il diverso modo di riproduzione dà origine a questa distinzione. Se ovipari, i polipi figliano ordinariamente individui isolati, e questi non hanno importanza mag-

giore delle conchiglie, degli echini, ecc. Ma se la propagazione succede per gemmazione e per fissiparità, il figlio non si stacca dal padre; le generazioni non si disgiungono dalle generazioni, e queste, ramificandosi a guisa di alberi, o levandosi in foggia di monticoli, s'alzano l'una sull'altra, si dilatano l'una accanto all'altra, formando una solidissima massa complessiva, capace di crescere continuamente come corpo vivo, di dilatarsi indefinitamente, fino ad emulare le masse dei monti, le moli dei continenti. L'ossatura del polipo, ossia il polipajo, si può praticamente ritenere come una massa calcarea. Moltissimi sono però gli ingredienti che l'analisi chimica vi scoperse. I principali sono, oltre il carbonato di calce, il carbonato di magnesia, il fosfato di magnesia, argilla, selce, ferro, ossido di ferro.

331. I zoofiti sono sparsi più o meno sotto le diverse latitudini, ed a varie profondità; ma il loro impero è sotto la zona torrida. Le specie che escono dalle latitudini più calde, sono scarse, piccole, a individui isolati e, se sociali, non offrono nulla di grandioso. Così, p. es., furono trovate delle piccole specie di coralli da Ross in vicinanza delle terre antartiche, cioè alla Vittoria, alla profondità di 1620 a 1801 piedi; e da Stokes, presso le coste della Norvegia, alla profondità di 900 a 1800 piedi. Questi fatti potrebbero forse testimoniare l'esistenza di quelle correnti calde sottomarine, di cui si hanno anche altrimenti non dubbie prove.

Ma se si parla delle grandi specie, delle specie sociali, capaci d'emulare, colle loro moli immense, i continenti, si può dire che i coralli sono letteralmente un prodotto della zona torrida. Secondo Dana la zona dei coralli è limitata dal 28° di latitudine a nord e a sud, e la loro massima profondità è di 120 piedi. Siccome però le correnti marine esercitano una grande influenza sulla distribuzione delle faune per rapporto alle latitudini; così i limiti della zona corallina non corrispondono perfettamente a un dato parallelo, ma presentano delle sporgenze e delle rientranze a nord e a sud dell' equatore. Infatti sviluppatissimi sono i coralli nell' Australia sotto il 29°, nel Mar Rosso sotto il 30°, alla Bermude di sotto il 32°, abbastanza alle Tremiti nell'Adriatico tra il 42° e 43°.

332. I limiti della zona corallina coincidono in fine colle linee isotermiche, piuttosto che coi paralleli, seguendone le evoluzioni. Questi limiti, nella *carta fisiografica* di Dana, coincidono colle due linee isotermiche di 68° Fahrenheit (20° cent.). La profondità delle acque non deve superare i 200 piedi. Il Pacifico è l'oceano ove più abbondano i coralli. Vi si contano 190 isole coralline, oltre i banchi che circondano le isole rocciose. Sono corallini l' Arcipelago di Paumotu, che numera da 70 a 80 isole di corallo, e le Caroline. I gruppi di Tahiti, Samoa, Feejee, e Nuova Caledonia, sono

famosi pei loro banchi di corallo. Nell'Oceano Indiano abbiamo le Maldive e le Laccadive, costituenti la formazione corallina più potente del globo. Le Indie orientali, le coste orientali dell'Africa, le Indie occidentali e le coste a sud della Florida abbondano di coralli. Anche le Bermude sono isole coralline. I banchi di corallo mancano sulle coste occidentali dell' America, eccetto lungo l' istmo di Panama, per effetto della gran corrente fredda, che dal polo antartico fluisce verso l' equatore, radendo precisamente quelle coste fin presso all'istmo. Probabilmente per uguale influenza delle correnti fredde sono sprovviste di coralli le coste occidentali dell'Africa e della China.

333. La limitazione dei coralli alla zona torrida è un fatto di capitale importanza per la paleontologia. Dai terreni paleozoici, i più antichi del globo, fino al supremo pliocene, i banchi di corallo presentano quello stesso enorme sviluppo che si osserva nei mari attuali. Non si potrà egli già, per analogia, conchiudere al clima tropicale di tutte quelle regioni, ove ei svelano banchi di corallo fossile?

Lo stesso fatto rende evidentissimo quell' ufficio di compensatori, assegnato in genere a tutti gli animali marini, ma per eccellenza ai coralli. Si rifletta invero come la zona de' coralli sia pure la zona di maggiore evaporazione; quindi la zona dove l' acqua, concentrandosi nel maggior grado, ha appunto maggior bisogno che altri la sollevi di quel soverchio di sostanze disciolte, le quali produrrebbero un eccesso di salsedine, nocivo all'economia del globo.

334. Si è molto disputato sulla rapidità dell'accrescimento dei banchi di corallo. Ehremberg, che studiò i banchi corallini del Mar Rosso, era persuaso che il loro accrescimento si verificasse con incredibile lentezza. Certe meandrine di 1 metro a quasi 3 metri di diametro, avrebbero per lui una antichità prodigiosa, sicchè Faraone avrebbe potuto osservare quegli stessi polipai che noi studiamo in oggi. I fantastici sognatori della prodigiosa antichità dell'epoca attuale ci trovavano il loro tornaconto. Ma la pluralità dei fatti li disillude. Ne citerò uno solo, che, stante l' abbondanza e la precisione dei particolari, presenta tutti i caratteri della verità. È tolto dal giornale il *Siècle*[1]. Lo stretto di Torrès, situato nell'Oceano Equinoziale, tra la Nuova-Olanda e la Papousia, fu sempre d' una navigazione difficile, a motivo dei numerosi isolotti ond' è seminato. Tuttavia le carte indicavano dei passi, o canali profondi, per cui, usando le debite precauzioni, quello stretto poteva passarsi anche dalle navi più grosse. Ora, dietro recenti studî eseguiti per ordine dell'ammiragliato inglese, lo

---

[1] Vedi N. 10, Gennajo 1858.

sviluppo madreporico rende quel passo impraticabile alle grosse navi. La rapidità dello sviluppo di quei polipai calcarei è tale, che, supposta la stessa legge di accrescimento, lo stretto di Torrès potrebbe in una ventina d'anni venire su parecchi punti intercettato in tutta la sua lunghezza, che è di 160 chilometri su 5 di larghezza al minimo. Nel 1606, epoca della scoperta di quello stretto, non si contavano che 26 isolotti; ora se ne noverano 150, senza parlare di quelli, che furono recentemente segnalati dagli studi dell'amministrazione.

335. Si possono aggiungere i fatti citati nel *Manuale* di Lyell; di un'áncora, perduta in mare, o ritirata 50 anni più tardi tutta incrostata di coralli; di un'ostrica di 2 anni, avviluppata da una agaricia del peso di circa 2 libbre. Le osservazioni dei viaggiatori si portano, per necessità, sulle parti già emerse, o superficiali dei banchi di corallo; su quelle parti cioè, dove le condizioni vitali di quegli animali si vanno sempre più peggiorando, fino alla totale estinzione della vita corallina, la quale avviene appena i coralli non siano regolarmente bagnati almeno nelle ore di alta marea. Parmi logico di ritenere, che la profondità, scelta originariamente da una colonia corallina, sia quella che meglio risponde ai suoi istiuti di ben essere e di propagazione. I primordî pertanto di una colonia saranno segnalati da tutta l'energia, da tutta la freschezza della gioventù. Il suo primitivo sviluppo sarà quindi, in riguardevoli proporzioni, assai più rapido al principio, che alla fine. Faccio poi riflettere che le osservazioni fatte sullo sviluppo dei banchi di corallo, si riferiscono al loro incremento in altezza, piuttosto che al loro sviluppo in estensione. La colonia, il cui sviluppo deve rallentarsi, mano mano che si alza verso la superficie del mare, è libera invece di espandersi lateralmente, mantenendosi nel pieno vigore a una profondità sufficiente. Osservò del resto Siau, che uno scoglio di coralli, vivente in un canale presso l'isola di Borbone, crebbe 19 piedi in altezza nel corso di 12 anni.

336. I banchi di corallo non sono che ammassi di polipi appartenenti a diverse specie, insieme cresciute, con successivo sviluppo, fino a formare scogli sottomarini di migliaja di miglia di estensione, che, per effetto di altri agenti marini, ponno sollevarsi sopra il livello dell'alta marea, e costruire isole e gruppi di isole. Mediante il confronto dei varî stadî, nei quali essi banchi si presentano, possiamo intendere come si formi ciascuno, e accompagnarne passo passo lo sviluppo. I germi dei coralli, secondo le abitudini delle diverse specie, cominciano ad arrestarsi sul fondo marino e sugli scogli di qualunque natura, a diversa profondità, sotto diverse latitudini, ecc., scegliendo un luogo che non sia soverchiamente esposto all'azione delle onde. Ciascuna famiglia comincia dal fabbricare

una specie di colle, o protuberanza, la quale, col concorso di mille generazioni, raggiunge l' altezza di 6 a 9 piedi. Tali protuberanze sono conosciute nel paese sotto il nome di *focaccie di corallo.* Il fondo vien così ad essere ricoperto d'un gran numero di queste focaccie. Per lo sviluppo naturale dei diversi polipai, esse vengono a contatto, si legano mutuamente, lasciando fra loro dei vacui, detti rigagni di sabbia, dove infatti si accumulano i sedimenti, ossia le materie detritiche.

Su questo primo strato vengono a posare altre famiglie, e fabbricano un secondo strato, indipendente dal primo; poi viene una terza generazione, una quarta, una quinta, e così via. Ne risulta una massa ineguale, con una quantità di vacui, riempiti da materie sedimentari. Il primo impianto dell'edificio è così costrutto dalle specie capaci di più grande sviluppo. Ma altre specie di minore importanza, coralli semplici, conchiglie, ecc., si stabiliscono su quei colli sottomarini, ed offrono così la maggior parte del detrito che ne riempie i vacui.

337. Chamisso, che seguì Kotzebue nel suo viaggio, compie la descrizione, accompagnando il polipajo fino al suo trasformarsi in isola. Quando il banco è giunto sì presso al pelo d'acqua, che nella bassa marea rimarrebbe a secco, i coralli desistono dal lavoro nel senso verticale; ma lo continuano però lateralmente, nel senso orizzontale. Il banco è a poco a poco adeguato da conchiglie, punte di echini, frammenti di corallo, ecc., o diventa una massa rocciosa, cementata dal tritume dei testacei ridotti a finissima sabbia.

338. Sotto l' azione del sole la massa screpola; le onde tempestose ne staccano pezzi considerevoli e li travolgono sul piano del banco, che, per l'ammontarsi del detrito, si rialza fino al punto di sottrarsi all'alta marea per la maggior parte dell' anno. La formazione delle dune, composte di sabbia corallina contribuisce assai ad innalzare l' isola, e ad assicurarla dagli attacchi del mare anche più furioso. Le dune, p. es., coprono le coste settentrionali dell' isola Oahu, una delle Haway, e vi attingono ben 30 piedi di altezza. Cementandosi, per mezzo del carbonato di calce, divengono vere colline rocciose.

339. Le sabbie, il detrito di quelle terre sôrte dal mare, offrono già un fondo propizio ai germi dei vegetali che l' onda vi conduce; ma l' onda stessa vi getta erbe e tronchi e ogni genere di rifiuto, sicchè in breve si forma un terriccio vegetale, capace di nutrire umili arbusti dapprima, quindi piante di alto fusto. Non tardano gli uccelli a riconoscere la nuova stazione. Gli insetti e le lucertole, navigando sui tronchi dai continenti o dalle isole vicine, divengono i primi stabili abitatori dell' isola nascente, finchè, passata lunga stagione, l' uomo viene a godere di tanto lavoro di tempo e di animali.

340. Dana ci offre un bel saggio della geognosia delle isole coralline, la cui importanza ci apparirà meglio più tardi. Egli vi distingue le seguenti roccie :

1.° Calcare granuloso, compatto, sonoro, a frattura vitrea, come certi calcari siluriani, di raro fossiliferi.

2.° Oolite compatta, formata di grani concrezionali, arrotondati, ordinariamente senza fossili distinti.

3.° Calcari come al n.° 1.°, ma contenenti strati di coralli e di conchiglie fossili.

4.° Conglomerato durissimo di coralli e conchiglie.

5.° Roccia durissima di coralli in posizione normale, ossia banco corallino, cavernoso, a interstizî riempiti di sabbia e frammenti corallini.

6.° Sabbia corallina.

7.° Arenaria corallina, porosa, stratificata.

8.° Puddinga corallina stratificata.

Le prime cinque varietà di roccia costituiscono il massiccio dell'isola; le ultime tre invece formano la spiaggia.

341. Accennerò alcuni calcoli relativi all'estensione di diverse masse di corallo, che serviranno a farci apprezzare l'importanza di questo fenomeno

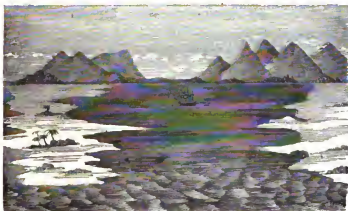



Fig. 26. L'isola Ualan vista a marea bassa[1].

biologico. La barriera corallina, che corre parallela alle coste orientali dell'Australia, ha una lunghezza di oltre 2000 chilometri, su 59 di lar-

[1] L'isola Ualan è una delle più orientali delle Caroline (arcipelago corallino per eccellenza). È però un'isola montuosa, intorno alla quale sono sviluppatissimi i banchi di coral-

ghezza, quindi una estensione di circa 120,000 chilometri quadrati. Interrotta verso la Guinea, per effetto delle correnti di terra, ripiglia più oltre, spingendosi fino alla Luisiade. Alcuni arcipelaghi corallini nel Pacifico, p. es. l'Arcipelago Pericoloso, hanno fin 2200 chilometri di lunghezza, e 700 di larghezza; il che vuol dire che i banchi di corallo occupano sul fondo marino un'area di 1,500,000 chilometri quadrati circa. Lo spazio occupato dai banchi di corallo nella Polinesia e nel mar delle Indie si calcola pari in estensione alla totalità del continente asiatico.

342. Lo studio dei banchi di corallo cresce d'interesse quando se ne considerino le forme. Quale dovrebbe essere infatti la forma di quei banchi corallini? O si fissano (specialmente per evitare l'influenza esiziale delle

Fig. 27. Isola Pfingst

acque dolci, provenienti da terra) a certa distanza dal lido, e formeranno una specie di barriera o di cordone littorale. È infatti questa la forma dei banchi corallini lungo le coste, in tutte le regioni del globo. La figura 26 la mette in tutta evidenza. O si stabiliscono lontano dalle terre sul fondo dei liberi mari, e non si vede come potrebbero pigliare una forma determinata, mentre alla formazione di quei banchi sterminati lavorano tante

lo. Il disegno, preso dal *Voyage pittoresque autour du globe*, Paris, 1835, mostra assai bene come i coralli innalzano il loro edificio fin sopra il livello dell'alta marea, sicchè la bassa lo lascia in secco. Dal banco, che serve di base, si spiccano le isolette, già rivestite di piante, formate nel modo che abbiamo descritto (§ 337, 338). Mostra anche come quelle barriere lascino d'ordinario aperti uno o più canali, per cui le navi possono introdursi, e trovare, dietro la barriera stessa, un porto sicuro.

colonie, tante specie e tante generazioni. Si osserva invece, che le isole coralline, in seno al libero oceano, disseminate sopra aree immense, assumono invariabilmente una forma circolare o subcircolare, la forma cioè di un anello, di una ghirlanda. Le isole coralline, aventi questa forma, sono, con parola di lingua maldiva, distinte col nome di *atoll*. Eccovi nella figura 27 il disegno di uno fra i più celebri *atoll*, cioè dell'isola Pfingst.

Quell'isola non è altro che un banco di corallo, sorgente dall'Oceano in forma di anello coperto di verdura. Circondato esternamente da un lido di candida sabbia corallina, cinge egli stesso una laguna. Ma basti il fatto per ora. La ragione di esso, che non può certo ricercarsi nella natura o negli istinti dei coralli, la cercheremo invece più tardi in un altro fatto, della cui realtà l'esistenza degli *atoll* ci fornirà una luminosa prova.

CAPITOLO XI.

DEPOSITI DI ORIGINE ORGANICA.

343. Indagando la parte che rappresenta la vita tra le forze telluriche, risultò un fatto, importantissimo per la geologia, ma non abbastanza studiato. Il fatto è questo: che gli esseri organici possono da sè creare imponenti formazioni. Il più mostruoso esempio ci fu pòrto dai coralli. Misurate le moli immense, che essi vanno elevando in seno agli oceani, quasi minaccino di colmarli, essi meritano il nome di creatori di continenti. Assistemmo nello stesso tempo al lavoro, meno appariscente nel meccanismo, ma forse più efficace nel risultato, degli enti microscopici, che vanno rialzando il fondo delle paludi e dei laghi, e lo stesso fondo dell'Oceano vanno agguagliando e rialzando come farebbe una perenne nevicata. È un fenomeno di vera sedimentazione organica che non ha altri confini, che i confini delle acque. L'argomento è fecondissimo, e potremmo diffonderci senza limiti.

344. Tutti gli animali infatti depongono le loro spoglie sulla superficie della terra e sui fondi subacquei. La maggior parte di essi sono provvisti di parti solide, le quali resistono lungo tempo alla decomposizione, e possono, in circostanze favorevoli, resistervi indefinitamente. Queste spoglie entrano a far parte d'ogni genere di depositi terrestri o subacquei, o, formando di sè enormi accumulazioni, possono costituire da sè vere formazioni, veri terreni.

345. Le spoglie organiche, sepolte isolatamente nei diversi depositi, acquistano una importanza immensa, considerate in rapporto coi *fossili*, cioè con quelle reliquie delle spente generazioni che si trovano disseminate negli strati terrestri. Crediamo quindi buona cosa di trasportare la trattazione dell'argomento a quel punto in cui dovremo stabilire il valore dei fossili, valore che essi desumono appunto dal confronto colle spoglie organiche, che or si vanno deponendo nei terreni di attuale formazione, cioè dal confronto coi fossili attuali. Delle vaste accumulazioni, ossia dei terreni d'origine organica, tratteremo ora, aggiungendo ai fatti già descritti nel capitolo precedente, alcuni altri di grande importanza.

346. Una congerie di animali, qualunque sia la causa che la determini, potrebbe dar luogo a depositi anche grandiosi. Parlando del *Gryllus migratorius*, di cui son note le migrazioni e le devastazioni, Lavaillant attesta d'averne osservato il passaggio di una legione che durò oltre a un'ora: poteva avere da 2000 a 3000 piedi di larghezza, e l'aria ne era letteralmente oscurata. Barow poi racconta d'aver osservato nell'Africa meridionale un nembo di locuste che copriva un'area di 2000 miglia, e cacciate sulla spiaggia, formarono uno strato pestilente di 3 a 4 piedi di spessore. Il fetore ammorbava l'aria 150 miglia distante.

347. Ma tra i casi che potremmo citare, ci fermeremo ai due più normali, l'uno di sedimentazione animale, l'altro di sedimentazione vegetale. Il secondo principalmente è importante perchè assai complesso, e perchè gli dovremo cercare le ragioni di quegli enormi ammassi di combustibili fossili, che troveremo sepolti in seno alla terra, fino dalle epoche più antiche.

348. Il primo caso, a cui alludesi, è quello della *sedimentazione fecale*. È noto, per esempio, l'incessante lavoro dei lombrici nel rimestare il terreno, inghiottendo l'*humus*, che, appallottolato, costituisce i loro escrementi, ed è accumulato sulla superficie del suolo. Considerevoli strati di escrementi si depongono in certe caverne abitate da miriadi di pipistrelli. La grotta del Corno sopra Entratico ne può dare un esempio. Ma il fatto più importante di questo genere è senza dubbio il famoso *guano* del Perù.

Attingeremo specialmente alla bellissima memoria di Tschudi, *Die Huanulager*, ecc., inserita nel volume II delle *Memorie* dell'I. Accademia di Vienna, e basata in gran parte sopra un'opera di Francisco de Rivero, *Memoria sobra las huaneras*, ecc.

349. *Huanu* in lingua quichua (*guano* in lingua spagnuola), significa escremento d'animale. Gli antichi Peruviani riconoscevano adunque benissimo l'origine di quei depositi, che la loro agricoltura sapeva già utilizzare certamente da secoli, prima che il guano fosse noto in Europa. Fu solo tra noi che, al primo comparire di quella sostanza amorfa, d'aspetto terreo, ecc., si potè disputare se il guano fosse sterco uccellino, piuttosto che un minerale, un terreno *sui generis*. Il guano del Perù non è che una congerie di escrementi d'uccelli, elevata, per la sua potenza, al grado di formazione geologica. Quegli uccelli sono marini, eminentemente sociali, e buoni volatori. I principali sono *Larus modestus*, Tsch.; *Rhinchops nigra*, Linn.; *Plotus anhinga*, Linn; *Pelecanus thayus*, Mol.; *Phalacrocorax Caimardii*, Tsch.; *Phal. albigula*, Tch.; *Sula variegata*, Tch. — Stanno sulle coste e sulle isole disabitate giorno e notte; ritiransi sui monti quando tira il vento: coprono letteralmente vaste superficie; levandosi oscurano il sole. Nutronsi di pesci, e sono voracissimi. Qual meraviglia se i loro escrementi formano depositi di mirabile potenza?

350. Benchè non trattisi espressamente di uccelli guanieri, ma di piccioni, valga quanto narrano i naturalisti delle loro passate in America a dimostrarci quali nembi di uccelli possano deporre il guano in quello ancor quasi vergine continente. Vedonsi sovente colonne serrate di piccioni che misurano 1 chilometro in larghezza e 10 a 12 in lunghezza. Wilson calcolò che una squadra di essi piccioni risultava di oltre 2,000 milioni d'individui. Audubon descrive una di tali migrazioni, osservata nei dintorni dell'Ohio: « L'aria, dice egli, era talmente pregna di quegli uccelli, che il sole in pien meriggio era oscurato come da un eclisse; gli sterchi fioccavano fitti come la neve; prima del tramonto arrivai a Louisville, situata a 55 miglia da Henderson, dond'era partito, e i piccioni passavano ancora in truppa serrata: lo sfilare di quell'esercito immenso durò ancora tre giorni. » Se una tale truppa si stabilisce per alcun tempo in una foresta, tutto in breve è distrutto: i loro escrementi coprono il suolo d'uno strato di parecchi centimetri per l'estensione di migliaia di ettari.

351. Dai precedenti si può, senza meraviglia, attendersi che, dove gli escrementi di quei nembi di uccelli si adunassero per lungo tempo nello stesso luogo, e non venissero in verun modo esportati o distrutti, debbano cogli anni o coi secoli formare depositi immensi. Le guaniere sono proprietà quasi esclusiva del Perù, perciò appunto che le condizioni climatologiche di quelle coste sono fatte per la perfetta conservazione di quelle sostanze. Le coste del Perù sono regioni senza pioggie. Mentre i fiumi, scendenti dalle cime ghiacciate delle Ande, irrigano i piani, tutto si dissecca e si mummifica sotto la sferza de' tropici sulle nude rocce e sui piani sabbiosi. Le celebri mummie naturali del Perù sono un testimonio della virtù antisettica di quel clima.

352. Quanto all'estensione e allo spessore del guano del Perù, ecco i risultati delle triangolazioni eseguite da Francisco Rivero sulle principali guaniere. Si badi che lo spessore non potendosi misurare direttamente che sugli spaccati delle guaniere attivate, o con parziali scandagli, la cifra del suo valore, e conseguentemente quella della cubatura, non possono essere che approssimative. Le misure sono in *varas*. Un *varas* è eguale a 33 pollici ossiano 83 centimetri circa.

Guaniera	Spessore				Superficie		Cubatura	
Chipana	V. ...	...	a ...	...	V. q.	....	V. c.	561,200
Huanillos	»	15	»	20	»	158,242	»	3,825,000
Ponta de Lobos	»	16	»	22	»	138,576	»	2,921,580
Pabellon de Pica	»	15	»	40	»	240,801	»	5,950,000
Puerto Ingles	»	18	»	25	»	129,251	»	2,585,000
Tre Isole Chincha	»	...	»	...	»	1,450,224	»	36,500,000

Qnelle guaniere adunque darebbero un totale dl 52,342,780 varas cubici eqnivalenti a 26,171,350 tonnellate.

353. Lo strato superiore delle guaniere è bianco o appena grigio; inferiormente si passa al giallo chiaro, quindi al giallo oscuro, al bruno, al bruno oscuro. Quanto alla consistenza, questa cresce colla profondità. Mentre il gnano è incoerente alla superficie, ha nna consistenza lapidea e una frattura quasi cristallina al fondo. I risultati dell'analisi chimica sono variissimi secondo le diverse guaniere, e le diverse profondità dl ciascuna, ecc. In genere le sostanze contenute sono: acqua, solfato di soda, solfato di potassa, cloruro di soda, cloruro di potassa, ossalato di ammoniaca, fosfato di ammoniaca e di magnesia, acido nrico con fosfato, acido nrico con ammoniaca e magnesia, ossalato di calce, sabbia, ossido di ferro, argilla, *humus*, materic organiche.

354. Il guano merita di essere considerato como formazione geologica. Primieramente il guano è stratificato, e come tale presenta nna serie geologica, che può interrogarsi come qualunque altra serie di strati sedimentari. Sono strati che contengono abbondantemonte necelli o uova fossili. Alla Punta de Lobos tra gli strati di gnano ordinario, v'ha uno strato di guano più bruno, che fu riconosciuto guano di foca. Al Pabellon de Pica, sopra strati di guano trovasi uno strato detritico con conchiglie fossili (ritengo marine), coperto di nuovo da molti strati di guano. Gli strati, ordinariamente orizzontali, sono invece talora ondulati, contorti, inclinati sotto angoli assai risentiti. Tntto ciò mostra como lo studio delle guaniere potrà porgere buoni dati alla geologia dell'epoca attuale, e como esse specialmente attestino oscillazioni del suolo peruviano in epoca relativamente assai recente.

355. Si disputò molto sulla antichità di quei singolari depositi. L'enorme potenza non direbbe un lavoro di miriadi di secoli? Humboldt, ritenendo minima la quantità di cui si accresce annualmente nna guaniera, assegnava a questa formazione nna antichità favolosa. Tale conclusione è combattnta da Tschudi dietro buone esperienze, il cui risultato è: potersi ritenere che la formazione delle guaniere del Perù non rimonti che a circa 4000 anni.

356. I fatti finora citati mettono in luce principalmente la potenza della vita animale. Non saprebbesi però, fatti i calcoli, quale fra i due regni sia prevalente, se l'animale o il vegetale, considerati come agenti tellurici. Io credo che, indissolubilmente legati l'uno all'altro, l'uno all'altro condizionati, in tutto e per tntto si equilibriuo; per cui ciò che dà risalto alla potenza di un regno, svela, per riflesso, la potenza dell'altro. La potenza del regno vegetale è del resto quanto vi ha di più parlanto da sè.

La terra è coperta di un manto di verzura, e il fondo del mare è un letto di alghe. A grandi accumulazioni di vegetali possono dunque dar luogo e terre e mari.

357. Le foreste vergini dell'America, quelle singolarmente che occupano i due bacini riuniti dell'Orenoco e delle Amazzoni, la cui estensione è di circa dodici volte la Germania, dove i tronchi di otto a dieci piedi di diametro formano un impenetrabile steccato [1], possono scemarci la sorpresa che desta il riflesso dell'immensa quantità di legnami necessaria alla formazione di tanti letti di carbon fossile. Questa sola foresta può ben reggere al confronto del gran bacino carbonifero degli Appalaches nord-America, calcolato di 170,000 chilometri quadrati. Del resto anche le zone temperate e fredde porgono esempî di grandi foreste. Quella di Bialowicza in Lituania è vasta più di 40 miglia quadrate. Il vandalismo che distrusse i nostri boschi in epoca sì recente, non ci torrà di immaginare la vastità delle foreste che coprirebbero l'Europa, se l'uomo da tanti secoli non si adoperasse a mutar faccia ai luoghi di cui ha pigliato possesso. I fiumi, che solcano le grandi foreste, quanto tributo di legname fluitato non debbono recare ai laghi ed ai mari!

358. Quanto alla vegetazione acquatica, le paludi, i bassi fondi dei laghi e dei mari, non sono essi altrettante foreste di piante acquatiche, di canneti, di ninfee, di alghe, di sfagni? Si conoscono alghe viventi alla enorme profondità di 300 metri. Abbiamo poi veduto come nel mezzo dell'Atlantico si trova il celebre *sargasso*, o mare di alghe, la più vasta accumulazione di vegetali, che si scoprisse in seno agli oceani (§ 286). Regolarizzando la figura di quel sargasso, delineata da Maury, potrebbe rappresentarsi con un triangolo rettangolo, con un cateto di 50° e l'altro di 15° gradi geografici, avente quindi una superficie di 1,350,000 miglia di 60° al grado.

359. Ora che ci siam formato un concetto della potenza attuale della vegetazione, studiamo come si possano formare vaste accumulazioni di vegetali in tali condizioni, da costituire un deposito, che si conservi indefinitamente, e possa annoverarsi fra le formazioni attuali. Parlando della formazione dei letti di carbon fossile e dell'origine in genere dei fossili combustibili, troveremo occasione più opportuna per trattare della conversione de'vegetali in un combustibile fossile qualunque, e delle condizioni che rendono possibile, o favoriscono una tale conversione. Or ci basti osservare come i vegetali esposti alla libera atmosfera finiscono col distruggersi interamente. Perchè il legno si conservi, trasformandosi in qual-

[1] HUMBOLDT, *Tableaux de la nature*

che cosa d'indole carboniosa, quale è, p. es., la torba, che forma attualmente così vasti depositi, è necessaria la presenza dell'acqua; è necessario infine, o almeno opportuno in sommo grado, che il legno venga sommerso, o tenuto comunque in contatto coll'acqua. Vedesi già come i vegetali, comunque si trovino o nati, o portati in seno alle acque, vi dovranno creare dei depositi carboniosi.

360. Lo sradicarsi degli alberi, e l'essere quindi travolti dalla piena in balìa dei fiumi, è uno dei fenomeni più volgari. Tali accidenti debbono verificarsi su scala gigantesca per le vergini foreste d'America. Ricordate le famose zatte del Mississipì (§ 202). Se la corrente incontra un lago, qui il legname si accumula stagnante, e sommergendosi, darà origine ad un deposito lacustre, in cui troveremo un riscontro nel bacini lignitici. La presenza di conchiglie lacustri, l'alternanza di letti argillosi, sabbiosi o fangosi con letti di combustibili, sono fenomeni che rispondono alla natura dell'ambiente, all'alternanza delle magre e delle piene, ecc.

361. Accumulazioni di vegetali avranno luogo negli estuarî, come nei laghi; e la natura dei fossili e la loro miscela riveleranno l'origine del deposito. Tutti i fiumi d'America sono famosi per l'enorme quantità di legname fluitato fino alla loro foce. Alle foci del Mississipì il legname accumulato, alternante coi depositi fangosi, forma cataste di centinaja di miglia quadrate.

362. Il fiume Makensie, nell'America settentrionale, che si dirige esattamente da sud a nord, sboccando nel mar glaciale, entro i limiti occidentali della Nuova Bretagna, ci offre i migliori esempî di formazioni lignitiche attuali, lacustri e d'estuario. Esso passa attraverso una regione boscosa immensa. Le sue sorgenti sgorgano nelle regioni temperate, mentre le sue foci versano nell'Oceano artico. Il disgelo del suo tronco superiore previene, naturalmente, il disgelo del tronco inferiore. La piena di quello urta contro i ghiacci di questo. Da ciò un vero spettacolo di rigurgiti, di rotte, attraverso le foreste. I tronchi sradicati hanno già in gran parte colmato il lago Altabasca e il lago dello Schiavo. Isole e terre sono formate da masse di vegetali, che offrono già i veri caratteri della lignite. Alla foce, una serie di bassi fondi, di isole, di cordoni littorali, constano di cataste di legna fluitata.

363. Nelle terre artiche, ove la necessità del combustibile cresce in proporzione della scarsezza del prodotto, natura provvede al difetto in un modo veramente singolare, incaricando le correnti marine di trasportarvi il legname dai luoghi dove più abbonda. Uno degli spettacoli più imponenti è quello dell'immensa copia di tronchi di abeti e di pini, che vengono ogni anno a frangersi sulle coste settentrionali d'Islanda. I focolari, le of-

ficine, le sostre, i cantieri sono in questo modo abbondantemente provvisti. Lo stesso si verifica sulle coste del Labrador e della Groenlandia. Crantz, nella sua storia della Groenlandia, ci assicura, che la massa di legname rigettata dal mare sui lidi dell'isola Jan-Mayen (a nord-est dell'Islanda) eguaglia sovente in volume ed estensione l'isola stessa, che può aver 200 miglia di circonferenza. Così evidentemente la corrente del golfo, oltre al raddolcire il clima delle artiche terre, vi reca con che scongiurare direttamente i perpetui geli di quelle estreme regioni. Sono pure immensi gli ammassi di legname fluitato sulle coste dello Spitzberg e della Siberia. Colà veggonsi, misti ai tronchi di larici, di pini, di abeti, di cedri di Siberia, quelli di Fernambuco e di Campeggio; piante asiatiche, miste a piante americane: indizio evidente, che in quelle remote contrade alla *corrente del golfo* risponde una contro-corrente, che discende, a guisa della corrente che esce dalla baja di Baffin, dall'Asia, e a cui metton foce correnti di terra analoghe al fiume Makensie. .

364. Alcuno potrà forse non trovare abbastanza giustificata la formazione di vasti cumuli subacquei di vegetali, per le vie fin qui accennate, non vedendo come il legno, ottimo galleggiante, possa così facilmente sommergersi. Ma pure si osserva che una tavola di un legno qualunque, lasciata un tempo più o men luogo immersa nell'acqua, se ne imbeve talmente, che cessa di galleggiare. Il capitano Scoresby, mosso dall' accidente d'una barca, che, trascinata da una balena nelle profondità oceaniche, perdette sull'istante la facoltà di galleggiare, fece diverse esperienze in proposito. Un pezzo di abete, di olmo, di quercia, immerso da 1200 a 1800 metri di profondità, dopo un'ora non poteva più galleggiare; era cresciuto l'8 °/₀ di volume, e l'84 °/₀ di peso. Parlandosi di legni fluitati, altre ragioni possono determinarne la sommersione: il moto vorticoso dell'onda; i sassi e la terra aderenti alle radici; più di tutto l'abbondanza stessa dei tronchi, che s'intrecciano e si sovrappongono.

365. Di vasti depositi carboniosi, formantisi attualmente, per l'accumulazione immediata de' vegetali in seno alle acque, ci danno esempio le torbe. Le torbe si distinguono in marine e terrestri. Le marine si producono negli estuarî paludosi e nelle lagune, costituendo in gran parte le così dette *maremme*. Una torbiera della circonferenza di 100 miglia si osserva p. es. a Montoire allo sbocco della Loira. Le terrestri occupano: 1.° I laghi a debole pendio e poco profondi, come a Varese, a Bosisio, in Brianza. 2.° Le depressioni del suolo, come al Piano del Tivano, sul giogo dello Spluga, le bassure presso la Camerlata, in vicinanza di Como. 3.° Le sponde dei fiumi dove essi stagnano lateralmente. Di tale natura sono le torbiere del Piano di Colico. 4.° Le pianure acquitrinose. Il Lodigiano,

p. es., si può dire una vasta torbiera coltivata. 5.° I pendii sui fianchi delle montagne.

366. L'Olanda offre l'esempio di un paese, dove sono del pari sviluppate le torbe terrestri e le torbe marine. Osserva infatti Elie de Beaumont [1], come esistano in quelle contrade numerose torbiere in corso di formazione. Vi si distinguono col nome di *moor* le torbiere littorali o marine, e con quello di *veen* le torbiere continentali. Le prime si distendono presso le foci de' fiumi, e stanno tra il terreno continentale e le terre che si vanno, come abbiamo detto (§ 282), continuamente formando; le seconde occupano dei valloni interni senza sfogo, e fino degli altipiani.

367. Le torbiere occupano vaste estensioni. Un decimo della supeficie d'Irlanda ne è, p. es., occupato. Una sola delle torbiere irlandesi, detta dello *Shamnon*, è vasta da 150 a 200 miglia quadrate. Questa formazione è tuttavia limitata, secondo Lesquereux, a nord e a sud dal 45° o 46° di latitudine. La ragione che esclude la torba dalle regioni tropicali sta nell'assenza di quell'elemento che è necessario alla sua formazione. La torba non si forma che a mediocre profondità, dove l'acqua stagui in un modo permanente. Si intenda ciò tuttavia soltanto della torba erbacea formata dalle piante palustri, non di quella che potrebbe eventualmente prodursi da ammassi di legname, o da foreste sommerse a qualunque profondità. Sotto i tropici, dove così rapida è l'evaporazione, non possono formarsi che ad intervalli quegli stagni bassi e marciosi dove la torba potrebbe prodursi. In alcuni luoghi invece ove il clima è a preferenza umido e freddo, dove quindi è assai tarda l' evaporazione, si producono le torbe anche sul pendio dei monti. Venni assicurato che una torbiera in pendio si trova sui monti di Nesso, sul lago di Como; ma ne osservai una io stesso che occupa lo sbocco della Val-del-Piano verso Santa Caterina di Val-Furva. Il pendio è sensibilissimo, assolutamente aperto in guisa da esserne facilissimo lo scolo; se la torba vi si forma, lo si deve totalmente al suolo acquitrinoso e al clima umido e freddo. L' acqua, di cui come spugna si imbevono gli sfagni e gli altri erbaggi, basta ad attivarvi il processo della torbificazione. Di questo processo ragioneremo meglio a suo tempo.

368. Leonhard, Balsamo-Crivelli ed altri si occuparono della determinazione dei vegetali componenti le torbe. Dalle loro analisi si deduce che tutti i vegetali palustri entrano nella sua composizione. Qualunque vegetale poi sia posto nelle debite condizioni, si torbifica: gli erbaggi del pari che le piante di alto fusto. Presso Lochbronn (Ross-shire) fu nel se-

[1] *Leçons de géologie pract.*, pag. 262.

colo XVII atterrata una foresta da un uragano. Impedito così lo scolo delle acque, convertivasi quella foresta in torbiera, di cui quarant' anni poi era già attivato lo scavo. Si osserva, che le regioni delle Ardenne, dell'Ercinia, ecc., occupate anticamente dalle foreste, ora lo sono dalle torbiere; e ciò si attribnisce ai decreti dell' imperatore Severo e de' suoi successori, che vollero atterrate le foreste per facilitare il soggiogamento di quei popoli. Il professore Balsamo-Crivelli osserva che nella valle del Sempione si mostrarono le torbiere soltanto dopo che l'apertura di quella magnifica via portò l'atterramento dei boschi.

CAPITOLO XII.

I GHIACCIAI ALPINI.

369. Nell'atmosfera e nell'acqua contemplammo i due agenti più universali alla superficie terrestre, e analizzandoli in tutti i fenomeni che ne dipendono, in tutti gli agenti secondari che loro si legano per mutua dipendenza, non escluse le forze biologiche, abbiamo quasi per intero percorso il vastissimo campo delle forze *esogene*. Il grande agente, di cui ora ci proponiamo lo studio, non è altro ancora che l'acqua, attinta dai venti alle grandi caldaje, portata sotto forma di vapore a grandi distanze, e distribuita sulle terre. Ma ridotta dal gelo allo stato solido, si offre come agente parziale, indipendente, come causa speciale, se vuolsi, come macchina suppletoria, che, in un angolo di grandiosa officina compia un lavoro eccezionale. Non lascia tuttavia un tale agente di pigliare un posto di prima importanza tra i fattori dell'economia terrestre; e come esercitò in epoca remota una poderosa influenza sul globo, non cessa di lavorare fisicamente e meccanicamente al suo sviluppo. Parlo di quelle vaste accumulazioni di ghiaccio, determinate da speciali circostanze, entro limiti relativamente angusti, e che, in senso largo, chiamansi ghiacciai.

370. Dove la neve non giunge mai a sciogliersi completamente anche nella più calda estate, là abbiam quelle che si chiamano le nevi perpetue [1]. Che il limite delle nevi perpetue sia vario per le varie regioni; che tale variare dipenda, 1.° dalla latitudine, 2.° dall'altitudine sopra il livello del mare, sono nozioni affatto elementari.

371. Prescindendo dalle oscillazioni e dalle irregolarità, dipendenti da condizioni locali, i limiti delle nevi perpetue, in parte reali e in parte immaginarî, sarebbero ben figurati da una sfera, od elissoide, schiacciata e

[1] Si danno delle annate eccezionali, in cui le nevi, cadute nell'inverno, si sciolgono interamente ben al di sopra dei limiti delle nevi perpetue. Nel 1861 le cime del Monte Bianco ne furono interamente spoglie. Vi persistevano tuttavia i ghiacci e i nevischi, cioè le nevi vecchie, già modificate, come si vedrà più sotto. Si citano diversi esempi consimili. Per stabilire le nevi perpetue basta che a quel livello il disgelo non sia totale ordinariamente.

cava, che involge il globo, intersecandone le eminenze, avente la massima elevazione o il massimo rigonfiamento sull'equatore, abbassandosi verso i poli, in guisa da tagliare il globo, isolandone due segmenti, uno a nord, l'altro a sud, occupati dai mari glaciali.

372. Ecco una serie d'altezze approssimative dei limiti delle nevi perpetue da un polo all'altro.

Mare glaciale artico	metri	0,00
Groenlandia (coste occidentali)	"	649
Isole Magerve (Norvegia estremità settentr.)	"	720
Islanda	"	936
Oural settentrionale	"	1460
Alpi	"	2708
Pirenei	"	2628
Sicilia (Etna)	"	2905 [1]
Spagna (Sierra Nevada, limite meridionale)	"	3410
Abissinia	"	4287
Quito (sull'equatore)	"	4818
Cordigliere orientali	"	4853
Cordigliere occidentali	"	5646 [2]
Aconcagna	"	4483
Chillan	"	2578
Valdivia	"	1709
Corcovado	"	1667
Stretto di Magellano	"	1200
Mare glaciale antartico	"	0,00

373. Dall'esposto quadro dei limiti delle nevi perpetue scaturiscono dei riflessi importanti in ordine alla geologia. Anzi tutto noi troviamo le nevi perpetue anche sotto la zona torrida: il che vuol dire non esservi bollore di clima che le escluda, purchè le altitudini siano sufficienti a elidere l'effetto delle latitudini. Nel tempo stesso noi ne troviamo spoglie le regioni

---

[1] L'Etna passa comunemente come coperta di nevi perpetue; ma a torto. La cima di quel vulcano si spoglia affatto di nevi durante l'estate. La neve si conserva più basso, in certi seni ombrosi, e a conservarla contribuisce l'umana industria, che la ricopre di materie coibeoti, per farne commercio nella stagione del caldo.

[2] L'elevazione dei limiti delle nevi perpetue, ad onta della più elevata latitudine, tra il 10° e il 30° nelle Cordigliere del Sud-America, vuole indubbiamente attribuirsi alla scarsezza delle nevi, in altre parole alla estrema siccità del clima, così caratteristica di quella regione (§ 96) almeno sui versanti occidentali. La stessa ragione vale per l'Himalaya, ove si verificano simili sbalzi, secondo gli studi degli Schlagintweit, e dee valere per tutti i casi consimili.

più settentrionali, come le coste occidentali della Groenlandia, e le regioni più basse dello Spitzberg e della Siberia. Dunque in fine l'esistenza delle nevi perpetue, è, a condizioni pari del resto, legata alla elevazione dei continenti. Deprimiamo i continenti in tali proporzioni, che alla Groenlandia, p. es., non restino che 600 metri d'altezza, e avremo distrutto le nevi perpetue su tutto il globo, salvo due anguste calotte, o forse due semplici anelli, ai poli. Aumentiamo di qualche grado la temperatura esterna del globo, o otteniamo anche semplicemente una più equa distribuzione del calore, e certamente anche i poli rimarranno scoperti. Conchiudo insomma che le nevi e i ghiacci non sono elementi necessarî, ma accidentali, nella fisica del globo. Nelle epoche andate il ghiaccio poteva anche non esistere, e il fatto potrebbe provarlo privilegio esclusivo dell'epoca nostra. L'esistenza o la non esistenza dei ghiacciaî potrà servire a stabilire, non soltanto la temperatura, ma anche l'orografia del globo. Se i continenti attuali, tra il 45° di latitudine nord e sud e l'equatore, non si levassero più di 1400 a 1800 metri, il ghiaccio non si formerebbe che nelle zone fredde o temperate.

374. I ghiacciaî sono ben altra cosa che le nevi perpetue. Essi ne infrangono i limiti o sotto forma di ghiacciajo alpino, o sotto forma di ghiacci galleggianti; invadono le zone temperate, e possono allargare indefinitamente i proprî confini. La teorica de' ghiacciaî si può chiudere in due parole. — Non sciogliendosi mai interamente le nevi nè ai poli, nè sulle vette, il loro accumularsi non avrebbe limiti. Eppure non si verifica questo accumularsi indefinito. I ghiacciaî fungono l'ufficio di scaricatori. Nell'esercizio di tale ufficio esercitano singolarmente un'azione meccanica capace degli effetti più grandiosi.

375. I ghiacciaî si presentano sotto due forme principali: *ghiacciaî alpini* o *terrestri; ghiacciaî polari* o *marini.*

Ove una vetta si estolle, o le terre e i mari si dilatano oltre i limiti delle nevi perpetue, ivi la neve si accumula d'anno in anno, ivi avran luogo i fenomeni glaciali.

376. Come si presentano i ghiacciaî nelle Alpi? I limiti delle nevi perpetue si verificano in media nelle Alpi a 2708 metri. Da lontano essi limiti sono segnati da una retta orizzontale abbastanza regolare. Ma qua e là quella linea si rompe, o n'esce, scendendo, quasi una lingua di neve, che, seguendo il corso delle valli, si mantiene entro i limiti di regioni temperatissime, tra verdi boscaglie e irrigui prati. Quella lingua è una massa di ghiaccio, è il ghiacciajo. Chamouny è a 1044 metri; dunque 1664 metri al disotto delle nevi perpetue, eppure le sue capanne stanno alle falde di un ghiacciajo.

377. I ghiacciaî alpini si distinsero in due classi:

1.° *Ghiacciaî di 1.° ordine.* — Dipendono da un alto bacino alpino, detto circo; occupano lunghe vallate, a lento pendio (Esempio: *Mer de glace*, Fig. 20 e 30).

2.° *Ghiacciaî di 2.° ordine.* — Sono campi di ghiaccio di variissima forma, stesi su pendii più ripidi, proporzionatamente più larghi che lunghi, ecc. In Lombardia chiamansi *vedrette*.

Il ghiacciajo di 1.° ordine è il ghiacciajo tipo, nei rapporti fisici, dinamici e geologici. Il ghiacciajo di 2.° ordine non ne differisce però che per alcuni accidenti.

378. Salvo le accidentalità dipendenti dalle condizioni fisiche delle diverse regioni, i ghiacciaî terrestri si presentano dovunque sotto la stessa forma, e si comportano in modo identico. Se consideriamo come tipici i ghiacciaî delle Alpi, e di questi specialmente ci intratteniamo, ciò vuol dire unicamente ch'essi furono a preferenza, anzi quasi unicamente, studiati dai fondatori della teorica glaciale. Ma ripeto: ciò che dirò dei ghiacciaî della più elevata catena d'Europa, si intenda detto in genere di tutti i ghiacciaî che, a guisa di fiumi, nutriti dalle nevi perpetue, discendono dalle montagne di tutte le regioni del globo, arrestandosi entro i limiti delle terre, o invadendo i confini dei mari, ove si trasformano in ghiacciaî marini.

379. Volendo cominciare con una sommaria descrizione di un ghiacciajo, supponiamo di ascendere da Chamouny lungo il ghiacciajo detto *Mer de glace*, uno dei più belli, come dei più tipici, che si incontrino nelle Alpi. Ci troviamo dapprima in faccia ad una caverna di ghiaccio, la *porta*, dond'esce un largo torrente. Si rimonta un'enorme barriera di ghiaccio, sparsa, e talora coperta di detrito fangoso e roccioso: il ghiaccio si depura a poco a poco, e s'interna nella valle di cui segue tutte le tortuosità; ha in complesso una forma tondeggiante o, direbbesi, a dorso di mulo; è sparso ad intervalli di cumuli detritici allungati. Mentre la superficie biancheggia, l'interno, prospettato dai crepacci, è azzurro. In quel regno, che direbbesi di morte, la scena è animatissima. In un bel giorno d'estate limpidi ruscelli scorrono, serpeggiano entro letti di cristalli. V'hanno burroni e guglie, monti e valli, e miriadi di *Desoria glacialis* vi rappresentano la vita in tutta la sua pienezza. Così si ascende lungo tratto, sempre sul ghiaccio compatto. Ma il ghiaccio si fa poco a poco più bianco, più poroso; perde la sua trasparenza; la superficie del ghiacciajo si fa sempre più uniforme; il ghiaccio stesso sparisce, e gli succede una neve gelata, una specie di gragnola o di gramolata, che si convenne di chiamare *nevischio* (*névée* in francese, *firn* in tedesco). Ascendendo più ancora, ogni irregolarità è scomparsa; il piede si affonda nella neve farinosa.

380. Il ghiacciajo si divide dunque in tre regioni: *regione della neve; regione del nevischio; regione del ghiaccio.*

La neve è sparsa ovunque si possa arrestare sui piani, e sui più ripidi pendii. Solo le creste più irte sorgono ignude, delimitano i *campi di neve*, e, scomponendosi, forniscono quel detrito, che ha tanta importanza nella teorica glaciale. La linea delle nevi si trova nelle Alpi a circa metri 2700 in media.

381. Il *nevischio*[1] occupa il bacino, ossia il circo, circondato dai campi di neve: non presenta ordinariamente che un pendio di 1° a 3°. Se il pendio è maggiore di 8°, vuolsi che il nevischio non si formi. Sovente perciò non si osserva sui ghiacciaî di secondo ordine. Il limite inferiore del nevischio è nelle Alpi a 2500 metri. Si distingue benissimo dalle nevi recenti, che non mancano naturalmente di coprire d'inverno tutte le regioni del ghiacciajo.

382. Di rado un ghiacciajo è semplice, cioè avente un solo circo isolato, e un solo canale di sbocco. Se il ghiacciajo non è piccolissimo, è anche composto. Ordinariamente ad un ghiacciajo, che si può dir principale, affluiscono altri. La confluenza può aver luogo in qualunque delle tre regioni. Sotto questo rapporto, come vedremo per altri mille, possono applicarsi a' ghiacciaî le leggi della idrografia, considerando il ghiacciajo come un fiumo, che risulta dalla riunione di molti confluenti.

383. La *regione del ghiaccio* è quella che presenta i principali accidenti. Li accenno sommariamente.

Spessore. — Il ghiacciajo dell'Aar si scandagliò fino a 260 metri. Dietro diversi calcoli avrebbe almeno 460 metri di spessore.

Tondeggiamento. — Il ghiacciajo è tondeggiante, cioè convesso, rilevato nel mezzo e depresso sui lati.

Crepacci. — Ve n'hanno di longitudinali e di trasversali. Questi sono più copiosi; quelli più lunghi e formanti burroni e valli. I crepacci trasversali sono tanto più frequenti, quanto maggiore è il pendio.

Aguglie. — Le aguglie sono formate dalla intersezione dei crepacci.

Ruscelli. — Un vero sistema idrografico anima la superficie del ghiacciajo. I ruscelli, prodotti da scioglimento, sciolgono alla lor volta il ghiaccio sul loro passaggio, formano *valli* o burroni, scavano e riempiono cavità ossia *pozzi*, scompajono nel primo crepaccio, che diviene un tubo cilindrico, o *mulino.*

Bagni. — Ogni sassolino, che si trovi sul ghiacciajo, riscaldato si affonda, tuffandosi in un *bagno* determinato dal suo stesso calore.

---

[1] Colla parola *nevischio* sembra che i Toscani vogliano indicare quel nevicare rado, a tempo umido e piovoso, che accade specialmente sulle alture. Il *nevischio*, nel nostro senso, è piuttosto quella neve semighiacciata, che rimane dopo che già ebbero luogo i disgeli.

Morene. — I cumuli detritici che si allineano sul ghiacciajo, chiamansi *morene*. Un ghiacciajo semplice ne ha due sui lati, *laterale destra* e *laterale sinistra*. Se due ghiacciaî confluiscono, le due morene laterali, rispettivamente interne, si toccano, si fondono in una morena *mediana*. Il numero di tali morene composte cresce indefinitamente col moltiplicarsi dei confluenti. Si chiameranno allora morene *intermedie*. Ma le *intermedie*, isolate a monte, tendono ad avvicinarsi a valle, a fondersi insieme fra loro, e finiscono sovente a riunirsi con una delle laterali. Così avviene che un ghiacciajo, ricco di morene intermedie nelle sue regioni più alte, non ne presenti più traccia alla sua foce.

Forma a crescente delle morene. — È ben singolare il fatto che le morene, nulle a monte o appena accennate da scarso detrito, vanno rapidamente crescendo a valle, e guadagnano alla foce uno sviluppo talora veramente gigantesco. Per esempio, la morena mediana dell' Aar, formata dalla confluenza di molte intermedie, ha verso il suo termine a valle 42 metri di altezza e 750 metri di larghezza.

Morene frontali. — Se due morene laterali si continuano, per dir così, oltre il ghiacciajo stesso, ma si volgono l'una contro l'altra, quasi in atto di stringere il ghiacciajo, le morene intermedie esse pure terminano ai limiti del ghiacciajo, e tutte insieme formano una specie di diga, che si chiama morena *frontale*.

384. Prima di avanzarci nell'analisi, mettiamo sotto gli occhi del lettore cinque figure, nelle quali si concentrano, per dir così, tutti i fenomeni glaciali, e a cui ci riferiremo sovente nel seguito di questo capitolo.

La figura 28 rappresenta l'estremità inferiore del grande ghiacciajo di Zermatt (versante nord-ovest del monte Rosa), come è delineato nell'atlante di Agassiz [1]. I ghiacciaî terminano con una curva risentitissima, talchè sono d'ordinario inaccessibili dalla fronte, ed offrono l'aspetto di una montagna di ghiaccio, sorgente dalla valle, come è bene espresso dalla figura. Osservasi alla base una bella caverna a volta: è la *porta* del ghiacciajo, ossia l'imbocco di una galleria, o *tunnel*, a cui mettono capo tutte le acque circolanti entro o sotto il ghiaccio, e danno origine a un torrente. Molti grandi fiumi trovano alla porta di un ghiacciajo le loro sorgenti. Il disegno mostra, alla destra dell'osservatore, un cumulo di massi, franati dalla fronte del ghiacciajo. È una parte della morena frontale, dalla quale il torrente tiene spazzata la porta. Vedesi sullo sfondo ascendere il ghiacciajo, irto di mille aguglie.

385. La figura 29 è destinata a dare una idea dello svolgersi del ghiacciajo

[1] *Études sur les glaciers.* Pl. VI.

entro la valle, con quel serpeggiare morbido e flessuoso, che fece dire essere il ghiacciajo un fiume di ghiaccio, assai prima che la scienza dimostrasse che lo è realmente. Il disegno è copiato dal frontispizio dell' opera di Tyndall [1].

386. La figura 30, presa dal grande *Atlante* di Berghaus (edizione inglese) offre la topografia dello stesso ghiacciajo in modo opportunissimo a met-

Fig. 28. Porta del ghiacciajo di Zermatt.

tere in luce i diversi accidenti di questo, che si può chiamare ghiacciajo modello. Esso nasce dalla confluenza di due grandi ghiacciaî, del sistema del monte Bianco, il ghiacciajo di Leschaux a destra, e il ghiacciajo del Tacul, il più poderoso, a sinistra [2]. Si osservino le linee ogivali, cioè le curve convesse da monte a valle, distinte dapprima sopra ciascun ghiacciajo, fondentisi poi in un solo sistema di *ogivi* concentrici, quando i ghiacciaî si fondono. Le linee punteggiate, che si svolgono longitudinalmente col ghiacciajo, sono le *morene*. Dall' angolo di coincidenza dei due ghiacciaî ne nasce una: la vera morena *mediana*. Ma il ghiacciajo a sinistra ne porta già una per suo conto, e due quello a destra; per cui sulla *Mer de glace* si contano una morena *mediana* e tre *intermedie*, sensibilmente parallele

---

[1] *The glaciers of the Alps*, London, 1860.

[2] La destra e la sinistra s' intendono, come pe' fiumi, rispondere alle mani di chi discende, seguendo il corso del ghiacciajo, da monte a valle.

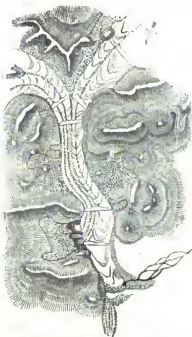
fra loro. Esse morene però, sempre più si accostano al lato destro del ghiacciajo, finchè, verso l'estremità inferiore, si fondono tutte colla morena *laterale destra*. Le due morene laterali, destra e sinistra, rimaste sole alla

Fig. 29. *La Mer de glace* a Chamouny.

estremità del ghiacciajo, si ripiegano l'una verso l'altra, cingendone la fronte, e formano la morena *frontale* sviluppatissima, che si vede punteggiata, e attraversata dal torrente, ove il ghiacciajo termina con una curva

molto ardita. Larghi spazî punteggiati si osservano lateralmente al ghiacciajo, indicanti il detrito che occupa i luoghi depressi tra i rilievi del suolo che fiancheggia il ghiacciajo. Quel detrito appartiene a quelle che noi chiameremo morene *insinuate*, e di cui più tardi. Attraverso al ghiacciajo si osservano, ad intervalli, linee, o piuttosto figure, che sembrano interrompere la continuità delle morene e del ghiacciajo. Sono le sezioni trasversali, projettate sul piano del ghiacciajo, per mostrarne la forma del rilievo in quel punto.

Fig. 30. Topografia della *Mer de glace*.

387. La figura 31 presenta la topografia di un altro ghiacciajo, il ghiacciajo della Pasterze (*Pasterzegletscher*) ridotto a piccola scala dalla magnifica carta annessa all'opera dei fratelli Schlagintweit [1]. È desso dipendente dal Grossglockner, cima che si leva a 3950 metri (12158 piedi di Parigi) sul livello del mare nelle Alpi Noriche, sui confini tra il Tirolo, l'arciducato d'Austria e l'Illiria. La sua maggior larghezza è di 1045 metri, e la lunghezza (compresa la regione del nevischio) è 9400 metri. Anch'esso risulta dalla confluenza di due ghiacciaî principali. Il maggiore a sinistra porta una morena mediana, che si mantiene distinta fino all'estremità inferiore, e si delinea sulla figura con una striscia di semplice ombreggiatura, per distinguerla dalle altre a destra, punteggiate come si usa. Quella morena è la morena del *nevischio*, formata cioè soltanto di neve caduta sul ghiacciajo dalle cime interamente coperte dalla neve, che impedisce la formazione del detrito lapideo, tributato soltanto dalle roccie scoperte. Le altre morene constano di detrito ordinario. Le morene laterali sono enormemente sviluppate. La destra, sbarrando un seno, determina la formazione di un piccolo lago, alimentato da tre piccole valli laterali. In questo luogo la

[1] *Untersuchungen über physicalische Geographie der Alpen*. Leipzig, 1850.

morena laterale destra si può anche considerare come morena *insinuata*. Il ghiacciajo, presso il suo termine, incontra una rupe, che divide la valle in due anguste gore. Il ghiacciajo è obbligato a dividersi anch' esso. Si insinua nelle due valli, e termina conseguentemente con due *porte*, da cui escono due torrenti. La morena frontale è anch' essa obbligata a ripiegarsi attorno alla rupe, e in parte arrestata alla base della eminenza, si trasforma in *morena d'ostacolo*, forma specialissima, di cui diremo a suo luogo: il resto, riuscendo nelle anguste gore, è mano mano portato via dai due torrenti.

Fig. 31. Topografia del ghiacciajo della Pasterze.

388. La figura 32 rappresenta la regione alta del gran ghiacciajo dell' *Unteraar*, dipendente dal Finsteraarhorn (Alpi Bernesi). Anche questo risulta dalla confluenza dei due grandi ghiacciaî, il Finsteraar e il Lauteraar, onde una meravigliosa morena *mediana* che si va enormemente sviluppando da monte a valle. Anche questa figura è tolta dal magnifico *Atlante* che accompagna l'opera di Agassiz, già citata. Sulla morena mediana si osserva la capanna che Hugi si fece costruire nel 1827 per starvi ad osservare il movimento del ghiacciajo. Questa capanna trovossi, nel 1841, 1428 metri più basso, avendo camminato in media 102 metri all' anno.

Abbozzati i fatti e recatine gli esempi, entriamo nel dominio delle ragioni di essi. Perchè, anzi tutto, il ghiacciajo presenta tale varietà di composizione da doversi considerarlo come diviso, da monte a valle, in tre regioni?

389. Benchè abbastanza ben delimitate sieno le tre regioni del ghiacciajo, è però vero che dalle nevi polverulenti delle vette alpine al ghiaccio trasparente delle parti più basse del ghiacciajo, vi ha un graduato passaggio. È quindi già evidente che la neve alimenta il ghiacciajo, trasformandosi in ghiaccio. Ciò si avvera ogni giorno sotto l'occhio dell'osservatore. In media, le nevi delle Alpi, soffici e fresche, formerebbero uno strato di 17 a 18 metri. Ma in breve la neve acquista la densità di un ghiaccio poroso, sicchè detto strato si riduce allo spessore di $2^{m},30$. Trasformandosi poi in vero ghiaccio, il suo spessore è ancor dimezzato, sicchè il *circo* non si accresce annualmente che di $1^{m},30$. Quale è la ragione di

tale successiva trasformazione? Tutti sono d'accordo nell'attribuire all'acqua d'infiltrazione (provenga essa dalla pioggia o dallo squagliamento superficiale) la virtù di convertire la neve in nevischio, e questo in ghiaccio. L'esperienza ce lo mostra. Ove infatti l'arrestarsi delle acque di in-

Fig. 32. Morena mediana del ghiacciajo dell'Aar.

filtrazione è impedito dalla rapida evaporazione, come sulle Cordigliere, il ghiaccio non si forma. Lo stesso avviene dove esse acque sono assorbite da roccie porose, come graniti, arenarie, ecc. Questo secondo fatto è attestato dagli Schlagintweit, e lo osserviamo noi stessi, confrontando la neve che si arresta sul soffice terreno coltivato, con quella che rimane sulla via battuta. Sui terreni molto assorbenti non restano che neve o nevischio incoerenti. Ma, mentre generalmente si ammette che l'alternanza del gelo e del disgelo sia necessaria alla trasformazione progressiva, il sig. J. Delaharpe[1] vuole che le fasi della successiva trasformazione rispondano a un grado di successivo riscaldamento, prodotto però sempre dalle acque di infiltrazione. La neve sarebbe il grado maggiore di solidità dell'acqua; il ghiaccio compatto il minore, cioè il più prossimo alla liquidità. L'idea è ingegnosa e suffragata da belle esperienze[2].

---

[1] *Bull. Soc. Vaudoise*, T. VII, N. 49. Settembre 1862.

[2] Certamente, se vi ha forma che rappresenti lo stato solido di una sostanza, questa è

390. Appena il nevischio si concreta, abbiamo un ghiaccio molle, bianco, bolloso, pellucido (ghiaccio del nevischio); i pori si riempion d'acqua, e il ghiaccio va facendosi più compatto, più trasparente. Mille fessure reticolate, dovute all'ineguale pressione, agli squilibrî di temperatura, alla dilatazione dell'acqua che si congela, alimentano il ghiaccio di sempre nuova infiltrazione, sicchè va facendosi cristallino, trasparente, a riflesso *bleu*, e si accosta pei caratteri al ghiaccio ordinario.

391. La stratificazione, già ben distinta nel nevischio, dovuta evidentemente alle successive nevicate, si fa distintissima nel ghiaccio, ove è meravigliosamente delineata dagli *ogivi*, specie di gradini curvilinei, colla convessità a valle, ove distinguonsi due fascie, la fascia *bleu* inferiormente, la fascia *sporca* superiormente. Ciò vuol dire che la pagina inferiore di ciascuno strato è la più pura e la più compatta, mentre la superiore è la più porosa e la più sporca. La più abbondante infiltrazione al basso, e l'arrestarsi delle materie straniere nella parte superiore dello strato, danno ragione dell'indole delle due fascie. Quando è attivo lo scioglimento, una fascia acquea distingue l'un dall'altro gli ogivi[1]. Osservando la stratificazione lateralmente al ghiacciajo, gli strati si mostrano ordinariamente inclinati da monte e valle. Talvolta però gli strati sono diversamente inclinati e contorti.

392. Il ghiacciajo è continuamente madefatto. La natura del ghiaccio di cui si compone è tale infatti che si imbeve come spugna, mentre l'acqua vi circola liberamente dall'alto al basso, non solo pei *mulini*, pei cre-

---

la forma cristallina. Il cristallo è il solido per eccellenza, e tutti conoscono le belle forme cristalline sotto le quali la neve cade frequentemente. Se io immergo nell'acqua una pallottola di neve, questa assume tosto quell'indole di gremolata, che caratterizza il nevischio. Se comprimo fortemente fra le palme la stessa pallottola, così ridotta, l'avrò resa molto somigliante al ghiaccio. Fin qui non ci sarebbe adunque bisogno di rigelo. L'acqua di pioggia, o di disgelo, riduce la neve a nevischio: il nevischio, compresso specialmente dalla sovrapposizione delle successive nevicate, si converte in ghiaccio, il quale non si rivela alla superficie che nelle regioni inferiori del ghiacciajo, dove l'ablazione ha già levati via gli strati superficiali più porosi, che lo ricoprivano, come meglio apparirà più avanti.

[1] Tutti questi fenomeni si spiegano da sè, appena si consideri la miglior cosa che rappresenti uno strato essere una nevicata. La porzione inferiore di ciascuna nevicata si mantiene pura e risulta infine più compressa. Più compatto e trasparente sarà quindi il ghiaccio in che si trasforma. La parte superiore della stessa nevicata sarà meno compressa; diverrà ancor più spongosa pel disgelo, a cui può andar soggetta, e la sua superficie esterna rimarrà esposta un tempo più o meno lungo alla invasione dei pulviscoli, delle sabbie, delle materie fine d'ogni natura, che vi sono portate da ogni soffio di vento. La pagina superiore dello strato di ghiaccio che ne risulta, riescirà pertanto spongosa e sporca. La pagina inferiore compatta rappresenta poi, in confronto della superiore porosa, uno *strato impermeabile*, per cui l'acqua d'infiltrazione, appena si avveri un soverchio, subirà un rigurgito, e rifluirà dallo strato più poroso, determinando una *fascia acquea* sulla testata, ossia sulla linea ogivale di ciascuno strato.

pacci, ecc., ma anche per le fessure capillari reticulate. Il ghiacciajo, come spugna imbibita, sgocciola lentamente, e l'acqna, adunata snl fondo, scorrendo a ruscelli, sbocca talora sotto forma di impetuoso torrente dalla *porta* del ghiacciajo.

393. Le pioggie sono una eccezione snll'Alpi; è molto se compensano l'evaporazione. Lo scioglimento, ossia l'*ablazione*, che si calcola di 3 metri annualmente, fornisce l'acqna d'infiltrazione. Come varia l'ablazione colle stagioni, coi giorni o colle ore; varia del pari la quantità dello stillicidio. Questo continua, benchè cessi l'ablazione; anzi può crescere, come cresce a sera e durante le notti che susseguono a giorni caldissimi. Non cessa nemmeno d'inverno, benchè si sia voluto attribuire alle sorgenti l'acqua che esce da alcuni ghiacciaî, anche nel massimo rigore della stagione [1].

394. L'osservazione diretta ed indiretta ci assicura che il ghiacciajo, generalmente parlando, non aderisce al fondo della valle. Canali e caverne lasciano vasti vacui tra la base del ghiacciajo e la valle: più, uno strato fangoso si distende tra lui e la roccia. Si intende come l'acqua circoli liberamente sotto il ghiacciajo, o si aduni come un torrente al suo sbocco.

395. Ma un fenomeno imponente presiede ai fenomeni glaciali: un gran fatto che dà ragione o dei fatti già riscontrati, o di quelli che successivamente ci rivelerà una più fina analisi. Questo fatto è il moto di traslazione che anima incessantemente il ghiacciajo. Il ghiacciajo cammina, scorre sul fondo della valle, a guisa di lenta fiumana.

396. L'esistenza stessa del ghiacciajo è già una prova del suo movimento. Infatti non può attribnirsi il ghiacciajo alla neve che cade sullo spazio da lni stesso occupato: 1.° perchè è al disotto delle nevi perpetne; 2.° perchè l'ablazione annnale del ghiacciajo, eguale a 3 metri, è quasi il triplo del ghiaccio che si formerebbe dalla neve che vi cade annualmente (m. 1,30), snpposto il ghiacciajo nelle migliori condizioni per la trasformazione e conservazione del ghiaccio. — Quel ghiaccio adunqne deriva d'altronde; e non può derivare che dall'alto, dalle regioni delle nevi eterne, le quali, per controprova, benchè non si sciolgano, non aumentano.

397. L'osservazione diretta rende palmare la progressione del ghiacciajo.

---

[1] Lo spessore dei grandi ghiacciai è tale, che, almeno nelle Alpi, e in genere sotto le latitudini temperate, deve sprofondarsi al disotto dello *strato a temperatura invariabile*, e trovar presto, secondo la legge della progressione del calore interno, il punto del disgelo, il quale, nelle regioni dei ghiacciai nelle Alpi, è poco al disopra della media di temperatura annuale.

Tutto il ghiacciajo progredisce dall'alto al basso, e con lui qualunque corpo si trovi alla sua superficie o nelle sue viscere. Per il moto superficiale i massi delle morene, e pel moto interno i piuoli impiantati, riferiti ad un punto stabile qualunque, prestano il più facile mezzo di osservazione.

Ecco i principali cánoni dedotti dalla esperienza circa il moto progressibo del ghiacciajo.

1.° *Varia annualmente.* — Agassiz calcolò per 4 anni il moto di 18 massi sul ghiacciajo dell'Aar. Il più veloce percorse circa:

nel 1843	metri	69	In 4 anni in totale metri 304.
» 1844	»	85	
» 1845	»	58	
» 1846	»	92	

Per dedurne netta la variazione annuale bisognava però tener calcolo delle variazioni di moto che ogni massa poteva subire cambiando successivamente staziono da monte a valle.

2.° *Varia giornalmente.* — Il masso sopra citato pel moto annuale avrebbe percorso, in media, circa 21 centimetri al giorno. Il massimo assoluto, trovato da Forbes, fu presentato dal ghiacciajo *du Bois*, che corse m. 1,32 al giorno.

3.° *Varia per stagioni.* — Tutte le cause meteorologiche hanno influenza sul ghiacciajo; quindi il moto varia di ora in ora, di giorno in giorno, di stagione in stagione. Nelle Alpi, il massimo si verifica tra la primavera e il principio dell'estate, poi va diminuendo. Il minimo è in dicembre e gennaio.

4.° *Varia per stazioni prese da valle a monte.* — Il fatto è attestato da mille esperienze, le quali servirono a stabilire, in via generale, alcune leggi importantissime: 1.° che la velocità diminuisce da monte a valle; 2.° che la parte media risulta la più veloce; 3.° che la velocità cresce col pendio e collo spessore della massa. Riflettasi alla singolare coincidenza di questi fatti con quelli presentati dalle correnti; lo stesso dicasi delle leggi seguenti.

5.° *Varia per stazioni prese sulle sezioni trasversali.* — Il massimo di velocità si verifica approssimativamente sulla linea mediana del ghiacciajo; il minimo sui lati. Di 20 piuoli sull' Aar, il 1.° laterale a destra percorse in un anno 9^m; il 1.° a sinistra $1^m,6$; il più veloce verso il mezzo 71^m, rappresentando il punto più avanzato di una curva ogivale, descritta da 20 piuoli.

6.° *Varia per stazioni prese sopra le sezioni verticali.* — Si è trovato che la velocità è massima alla superficie, e decresce fino al fondo, dove per conseguenza è minima.

398. Quanto non si è disputato sulle cause del moto progressivo de' ghiacciai alpini! Passiamo brevemente in rassegna le diverse teoriche introdotte e sostenute dai più valenti fisici. La prima può chiamarsi la *teorica dello sdrucciolamento.* Il ghiacciajo si move sdrucciolando sopra un piano inclinato. Teorica proposta nel 1760 da Gruner, adottata da Saussure, Kuhn, ecc. — La velocità infatti è in ragione del pendio; ma

1.° Perchè i ghiacciai di seconda classe, posti su più ripido pendio, sono invece più lenti? I ghiacciai di primo ordine hanno un pendio da 3° a 10°, quelli di secondo ordine di 15° a 50°.

2.° Il moto dovrebbe crescere da monte a valle, sempre in ragione del quadrato. Il ghiacciajo diverrebbe una valanga; perchè invece cammina lentissimo?

3.° Il moto dovrebbe essere uniforme; perchè invece varia per stagioni, e per stazioni prese in tutti i sensi?

4.° Come si spiegherebbe, ad onta del continuo moto, l'aderenza del ghiacciajo alla roccia, che si verifica talora, almeno parzialmente?

5.° Il progresso non potrebbe verificarsi senza scosse, sussulti, ecc.

6.° Perchè il ghiacciajo sdruccioli, dovrebbe trovarsi perfettamente libero: invece le valli, essendo tortuose, offrendo mille irregolarità sui lati e sul fondo, tengono il ghiacciajo imprigionato e impossibilitato a qualsiasi movimento. Talvolta esistono rupi che si levano di mezzo al ghiacciajo, e dovrebbero arrestarlo; talora il ghiacciajo deve anzi assottigliarsi per passare attraverso ad anguste gore. Se si move, non è certo perchè sdruccioli.

399. Chiameremo la seconda delle ipotesi introdotte *teorica della dilatazione.* È la teorica di Charpentier. — L'acqua di infiltrazione, gelando, si dilata e spinge la massa del ghiacciajo da monte a valle. Le obbiezioni sono:

1.° Sul ghiacciajo, specialmente nelle regioni superiori, non v'ha spesso nè pioggia nè disgelo; eppure il moto continua.

2.° Spesso alla superficie, e molto più nell'interno, non si verifica il gelo anche di notte, eppure il moto continua. — Nella calda stagione, specialmente, il ghiacciajo si può dire in vera dissoluzione, l'acqua circola, rigurgita dapertutto, ed il ghiacciajo si muove tanto più velocemente. L'alternanza del gelo e del disgelo non può del resto aver luogo, in qualunque stagione, che a profondità molto mediocri.

400. L'ultima teorica, completata dai più recenti studi e, nella sostanza,

universalmente adottata, può chiamarsi *teorica della plasticità*. — Osservandosi come il ghiacciajo cammina, in guisa da ubbidire a tutte le sinuosità della valle, serpeggiando, insinuandosi, infine modellandosi perfettamente nel proprio letto, monsignor Rendu emise l'idea che il moto del ghiacciajo dipendesse da una aliquale *fluidità*, cui si convenne poscia di chiamare, con nome più conveniente, *plasticità*.

401. Il concetto di plasticità, applicato a un corpo così rigido e vetrigno come è il ghiaccio, ripugna a prima vista. Eppure da questa proprietà, che è distintissima nel ghiaccio, dipendono i fenomeni più importanti, per cui la teorica glaciale ha versato tanta luce sulla geologia. Intendiamoci dunque bene.

Noi diciamo plastico un corpo, che, compresso, stirato, si schiaccia, si allunga, si piega per tutti i versi; un corpo, le cui molecole, sollecitate da una forza meccanica sufficiente, possono moversi i tutti i sensi, senza che si rompa la loro adesione reciproca, sdrucciolando, quasi direi, le une sulle altre. I corpi, che noi chiamiamo pastosi, non sono che corpi eminentemente plastici. Ma la plasticità è proprietà anche di corpi rigidi, solidissimi, p. es., dei metalli, i quali, come diconsi malleabili, potrebbero anche, con tutta proprietà di linguaggio, dirsi plastici. Vedremo anzi altrove, dove ci verrà più opportuno, essere la plasticità una proprietà universale dei corpi. Dal corpo più plastico al più rigido non ci corre che una differenza di grado. È la volgare esperienza che ci fa dir plastici quei corpi, nei quali i movimenti, che caratterizzano la plasticità, si determinano sotto l'azione di forze deboli. Aumentate però quelle forze, e si moveranno allo stesso mode i corpi meno plastici, e anche, come dissi, i più rigidi.

402. Non parlando, per semplificare la dimostrazione della tesi, che di compressione, vi sono dei corpi, i quali, per produrre i fenomeni della plasticità, per distendersi, piegarsi, modellarsi entro una forma, non esigono più di quel grado di compressione, che le molecole esercitano sopra sè stesse, per la forza di gravità. Il miele, p. es., si modella, si appiana, scorre da sè, per quanto lentamente, a modo di un liquido. Perchè la cera, la pece, e altri corpi meno plastici, presentino gli stessi fenomeni, bisognerà, p. es., comprimerli debolmente colle dita. Se vuolsi poi sviluppare la plasticità dell'oro o del piombo, bisognerà ricorrere al martello o al torchio. Tutti però gli accennati corpi verranno a presentare gli stessi fenomeni. Le esperienze di Tresca, nella sua Memoria *De l'écoulement des corps solides soumis à des fortes pressions*, ci conducono ad ammettere, come dice il titolo della Memoria, che i fenomeni della liquidità, sono ancor quelli della plasticità, della duttilità, della malleabilità, colla

sola differenza nei gradi di forza necessaria a determinarli nei diversi corpi e nel modo di commnnicarla ad essi [1].

403. Faccio però riflettere come per determinare i fenomeni della plasticità nei corpi meno plastici, non sarà necessario propriamente, come negli esempî citati, agginngere alla forza di gravità, che determina il moto nei corpi semiliqnidi, un' altra forza di sussidio, destinata a vincere quoll'eccesso di resistenza, che non puossi superare dalla sola gravità. Basterà che io aumenti, per modo di dire, la stessa forza di gravità, aumentando la massa, o piuttosto lo spessore del corpo da comprimersi. Un pezzo di pece, snpponiamo d' un centimetro cubico, non si moverà da sè nemmeno d'estate; ma io ho visto più volte nei magazzeni muoversi, colare la pece dai barili, opportunamente inclinati, anche nell' inverno, qnando la pece si fa dura e vetrigna come il ghiaccio. Così certamente vedrebbersi scorrere ruscelli di solido metallo alla base di una montagna di piombo. Torneremo in luogo opportnno sull'argomento. Ora mi basta l' aver dimostrato come vi siano de' corpi, apparentemente non plastici, che lo divengono evidentemente sotto nna compressione sufficiente, prodotta o da una forza esterna che si aggiunga alla forza di gravità, o dalla sola gravità, ossia dal peso stesso di essi corpi, quando abbiano una potenza, che corrisponda al peso richiesto. Uno di questi corpi è il ghiaccio, il qnale può moversi sotto una forza che lo comprima, o anche da sè, quando esista in massa sufficiente. Che il ghiaccio sia nno di questi corpi lo dimostrano dapprima l'esperienza, poi l'osservazione portata appnnto sui ghiacciai.

404. Sono celebri le esperienze di Tyndall. Un pezzo di ghiaccio, compresso da un torchio idraulico in apposite forme di legno, potè da lni convertirsi successivamente in sfera, in cilindro, in lamina curva, ecc. Naturalmente il ghiaccio da prima crepita e si frantuma; ma poi i frantumi, compressi entro la forma, como la pallottola di neve entro le palme, si cementano, e il ghiaccio riesce modellato d' un sol pezzo. Tyndall crede che ciò sia l'effetto di un *rigelo:* parmi invece più naturale lo scorgervi un semplice effetto della plasticità. Un pezzo di ghiaccio irregolare, compresso entro una forma regolare, alle cui pareti non pnò aderire che per alcuni punti, per la mancanza d'equilibrio fra le pressioni e le resistenze, essendo d' indole vetrigna, deve necessariamente spezzarsi. Una volta però che i frantumi, compressi e pigiati, formano un solo sistema di resistenza a nn solo sistema di potenza, non pnò più nascero rottura, c i

[1] Si intende parlare principalmente della lentezza e della regolarità con cui può essere applicata una forza. Un pezzo di pasta di farina di frumento si schiaccierà, senza rompersi, anche sotto un colpo di martello bruscamente applicato; un pezzo di ceralacca invece si sfrantumerà sotto lo stesso colpo.

frammenti compressi aderiranno mutuamente per la loro plasticità: aderiranno precisamente come aderiscono e si fondono in un sol pezzo, tanti pezzetti di cera o di piombo, che venissero compressi entro un modello di ferro. Ho ripetuto troppe volte l'esperienza per credere di ingannarmi affermando che un pezzetto di ghiaccio, compresso in debito modo fra i denti, lo si sente schiacciarsi come una pasta assai dura e tenace.

405. La plasticità del ghiaccio, come noi la intendiamo, meglio che dalle esperienze di Tyndall, risulta da quelle intraprese da Eward William per tutt'altro scopo, cioè per dimostrare la forza di dilatazione dell'acqua nel suo passaggio dallo stato liquido allo stato solido. Esse ci condurrebbero ad ammettere come dimostrato essere il ghiaccio talmente plastico, che, compresso entro la campana del pastaio, quand'essa fosse abbastanza resistente, passerebbe attraverso i fori dello stampo, uscendone vere paste di ghiaccio. Eward William, riempita d'acqua una bomba, e tappatala a tutta forza con tampone di ferro, la pose a gelare. Dopo qualche tempo il tampone fu lanciato a più di 400 piedi di distanza, e dal foro della bomba sbucò, perfettamente modellato, un cilindro di ghiaccio della lunghezza di 8 pollici, precisamente come se si trattasse di burro strizzato dalla siringa. In altre esperienze il tampone resistette; la bomba crepò; ma dalla crepatura schizzò fuori una lamina di ghiaccio, modellata dalla crepatura stessa [1].

406. Quanto alla osservazione portata sui ghiacciai, i risultati ne sono più che decisivi. Come mai una massa di ghiaccio, fabbricata nelle più alte regioni, potrebbe discendere, dilatandosi, ove la valle si dilata, restringendosi, dove si restringe, dividendosi, ove si divide, curvandosi e serpeggiando, dove si curva e serpeggia, insinuandosi, dove c'è un seno, modellandosi perfettamente entro la valle, come entro uno stampo, e tutto ciò senza rompersi, come farebbe una massa di cera; come mai, dico, si presenterebbero tutti questi fenomeni se il ghiaccio non fosse plastico?

407. I *crepacci* trasversali e longitudinali, così fitti da rendere inaccessibili certe parti del ghiacciajo, non contraddicono a quanto qui si asserisce. Essi non provano altro se non che la plasticità del ghiaccio, come quella dei corpi più plastici, ha un limite. Finchè la valle è piana, la superficie del ghiacciajo è unita e uguale a modo di un regolare pavimento. Dove si verifica un pendio un po' forte, o un vero salto, la distensione supera la coesione, e si determinano delle rotture, cioè dei crepacci, trasversali. Ma dopo il salto, il ghiacciajo si riunisce ancora, come

[1] DAGUIN, *Traité de physique.*

un fiume dopo una cascata. Quanto ai crepacci longitudinali questi si mostrano anche nelle parti più piane. L'ablazione sui lati, per effetto del calore irradiato dalle sponde, è tale, principalmente in estate, che tra il ghiacciajo e la roccia si mantiene un vano profondo. Il ghiacciajo, mancando così d'appoggio sui lati, agisce col proprio peso sopra sè stesso, e quando questa azione non è equilibrata dalla coesione, si determinano dei crepacci longitudinali, della lunghezza di più chilometri, se occorre. Le seguenti figure mettono in evidenza il doppio fenomeno. Certamente la

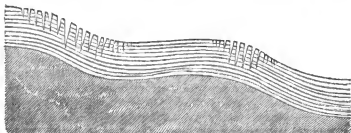



Fig. 33. Crepacci trasversali di un ghiacciajo.

differenza di movimento da cui sono affette le diverse parti del ghiacciajo hanno una influenza diretta nel determinare il luogo, la direzione, e il momento delle crepature. Ma le ragioni accennate mi sembrano le più prevalenti come le più certe.

Fig. 34. Crepacci longitudinali di un ghiacciajo.

408. Conchiudendo da ciò che abbiamo detto circa la plasticità del ghiacciajo, tra esso e un fiume, non vi sono che le differenze portate dal diverso grado di plasticità (vorrei dire di liquidità), o anche, se vuolsi, dal grado differente di coesione molecolare. Insisto su questo punto, poichè ho visto in pratica come non vi ha fenomeno, riferibile ai ghiacciai attuali o antichi, che non si spieghi, anzi non si preveda, quando s'immagini il ghiacciajo scorrente come un fiume, como scorre realmente, e scorrerebbe visibilmente, se l'estrema lentezza non ne rendesse il moto inapprezzabile al senso.

Se si domanda alla fine: perchè il ghiacciajo cammina, progredisce? rispondo: perchè essendo una massa plastica, è spinto dalla propria gravità

a progredire dall'alto al basso, con velocità tanto maggiore, quanto maggiore sono il pendio, lo spessore della massa, e il grado di temperatura.

409. Alle condizioni che determinano il grado di velocità, ho aggiunto il grado di temperatura; e poteva dire il grado di fluidità, o di plasticità; poichè, come pei metalli, aumentando la temperatura, cresce la plasticità. Risulta infatti dagli esperimenti di Tyndall che la plasticità è massima pel ghiaccio a 0°, cioè pel ghiaccio deliquescente.

410. Il ghiacciajo, pel suo moto progressivo, tende ad avanzarsi indefinitamente e invaderebbe tutta la regione sottoposta, se l'ablazione non elidesse continuamente i suoi sforzi. L'avanzamento adunque del ghiaccio è in ragione diretta della sua velocità, inversa dell'ablazione. Quando le due potenze si equilibrassero, il ghiacciajo, benchè non cessi il suo moto, rimarrebbe stazionario. Ma in ciò che dipende da ragioni metereologiche, vi può egli essere equilibrio appena costante?.... Prescindendo da altre ragioni, la principale, favorevole all'avanzamento, è la quantità annuale della neve, e la principale, favorevole all'ablazione, è il calore. Il ghiacciajo adunque oscilla continuamente, per ore, per giorni, per stagioni. Tutte le oscillazioni si risolveranno in una oscillazione annuale, che è spesso marcatissima. Talora il ghiacciajo si è molto avanzato, ha invaso i colli, l'abitato; talora è apparentemente retrocesso. D'inverno ordinariamente si avanza, benchè più lento; d'estate retrocede, benchè più veloce. Nell'Oetzthal la differenza tra il limite dei ghiacciai d'estate e d'inverno fu trovato dagli Schlagintweit di circa 13 metri pei ghiacciai di 1° ordine, di 150 metri per quelli di 2° ordine.

411. Come oscillano colle medie annuali, oscilleranno colle medie secolari, ecc. Nè la metereologia co' suoi principî, nè l'esperienza ci danno alcun che di definito in proposito. Fu per esempio notato, secondo Agassiz, che l'Aar avrebbe da qualche secolo guadagnato 7 metri. D'altri invece si attesta il regresso [1]. Un seguito d'anni come il 1861 farebbe rinculare i ghiacciai ben addentro ne' recessi delle Alpi, come per l'opposto un seguito di anni freddi, umidi, nevosi, potrebbe dar luogo a terribili invasioni [2]. Intanto sta

---

[1] Le parzialità, che possono presentare le oscillazioni di un ghiacciajo in confronto o con altri individui, o con tutto il sistema di una regione, non ci devono meravigliare, sapendosi come talvolta si localizzano i fenomeni meteorologici, da cui dipendono i glaciali. Un ghiacciajo, che si avanzi in proporzione più degli altri, non fa più meraviglia di un fiume, che straripi, mentre gli altri si tengono entro i limiti, come avviene sì spesso. I nubifraggi e *sacchi d'acqua* (come si chiamano nelle Alpi), che si localizzano sovente d'estate, corrispondono alle nevicate straordinarie, ugualmente localizzate, di cui i paesi alpini conservano memoria perenne.

[2] È un fatto d'esperienza troppo volgare la variabilità esterna degli elementi, che costituiscono il clima di una regione. Per uno di questi elementi, la quantità delle nevi che influisce direttamente sulle oscillazioni dei ghiacciai, basti il dire che sul S. Bernardo, dal

il principio della possibilità d'un indefinito regresso, come d'un indefinito avanzamento: si dia la causa, avremo l'effetto.

412. Alle oscillazioni nel senso longitudinale, risponderanno oscillazioni nel senso della larghezza e della profondità. Se il ghiacciajo si avanza, nello stesso tempo si allarga e si gonfia, occupa nuovi seni, può sorpassare ostacoli, dividersi in rami, rinnirsi ad altri ghiacciaî, ecc.

Venendo agli effetti che si traducono in un fatto permanente, alcuni di essi si riportano alla superficie superiore del ghiacciajo, considerata in movimento, altri alla superficie inferiore, od all'interno, considerati pure in movimento. Gli effetti della prima categoria riguardano specialmente la formazione delle morene; quelli della seconda si riferiscono alla erosione, esercitata sulle roccie in posto, o sul detrito.

413. Quale origine hanno quegli enormi cumuli, distinti col nome di morene? Non v'ha dubbio non essere altro, in origine, che detrito, prodotto dalla degradazione delle roccie sovrastanti al ghiacciajo. La natura delle roccie lo attesta. Quanto maggiore sarà la superficie erodibile, e quanto più facile la decomposizione, tanto maggiore sarà lo sviluppo delle morene. — Il detrito non può, salvo casi accidentali, essere fornito che dalle roccie ignude: abbiam veduto che la neve esercita un'azione protettrice; e il fatto è splendidamente messo in evidenza dalla morena di nevischio, che si forma al confluente de' due principali ghiacciaî costituenti la Pasterze (§ 385, fig. 31), fra i quali non si osserva nessuna roccia nuda. Quella morena è costituita semplicemente dalla neve incoerente, che frana da versanti interamente coperti.

414. Il detrito che frana dai monti a destra od a sinistra del ghiacciajo si arresta sui lembi rispettivi, destro o sinistro di esso. La convessità stessa dei ghiacciaî serve di barriera, per tenere divisi i detriti di opposta provenienza. Ecco la causa delle morene laterali, di cui ciascuna sarà composta di roccie provenienti dal rispettivo versante, che rimangono assolutamente distinte [1].

1847 al 1858, la quantità annuale delle nevi cadote variò da $3^m,527$ a $13^m,482$. Sullo stesso S. Bernardo la oeve si levò fino all'altezza di 2^m in uoa notte, o Agassiz vide codere sul-l'ospizio del Grimsel ($1,874^m$ sul livello del mare) 17 metri di oeve in 6 mesi (Diverse fonti citate da Reclus, *La terre*, pag. 221).

[1] Goardato, come si goarda communemente, oo ghiacciajo, si presenta come ona massa di ghiaccio convesso, o, come si direbbe, a dorso d'asino. La curva però è tott'aitro che regolare, e, stodiato accoratameote, ogni ghiacciajo presenta, direbbesi, uno orografia sua propria. Il numero e lo sviluppo delle morene servooo assai a stabilirla. La morena difende il ghiaccio dai raggi solari e ne impedisce l'ablazione. Essa è perciò rilevata sopra on cordone, o colline longitodinali di ghiaccio. Le stesse morene poi, irradiando calore, agiscono sulle sone di oudo ghiaccio come le spoode della valle so tutto il ghiacciajo, cioè determinano uoa depressione, che dà rilievo ancora maggiore ai cordoni morenici. La sezione della

415. Può accadere soltanto in via eccezionale che un masso si stacchi dalle sovrastanti montagne, e discenda spiccando salti, in luogo di franare, sicchè, invece di arrestarsi sul lembo rispettivo del ghiacciajo, si collochi nel mezzo, e trovi anche, in qualche caso, il lembo opposto. Vedonsi infatti sui ghiacciaî de' massi che direbbersi erranti e fuorvisti nei grandi intervalli tra morena e morena, e distinguonsi col nome di *tavole de' ghiacciaî*. Ne mostra, p. es., un certo numero il ghiacciajo dell'Aar (Fig. 32). Eccezionalmente può quindi qualche masso mescolarsi al detrito d'altra provenienza; ma la distribuzione delle roccie a seconda della rispettiva provenienza sarà sempre il carattere più sagliente delle morene, e in genere del detrito glaciale.

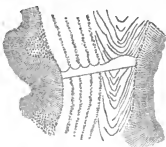



Fig. 35. Sezione trasversale dello *Mer de glace*.

416. Come confluiscono i ghiacciaî, confluiscono le loro morene, e si congiungono, formando una *morena mediana*, o più *intermedie*. È da notarsi però che la fusione delle morene avviene per semplice accostarsi dell' una all'altra, per semplice *juxtaposizione*, sicchè il detrito rimane rispettivamente distinto.

Le morene, specialmente le *intermedie* meno soggette a disturbi, hanno forma di diga o cordone rilevato sopra la superficie del ghiacciajo. La

Mer de glace (Fig. 35) vi varrà ancor meglio d'una dimostrazione. È la sezione trasversale presa inferiormente alla confluenza dei due grandi ghiacciai Unificati formano un solo grande rilievo, che si leva a considerevole altezza tra le due sponde, stabilendo una barriera insormontabile che divide i loro detriti. Ma sulla metà destra, munita di quattro morene mediane, la curva del rilievo, non sulla metà sinistra, si suddivide, formando quattro rilievi, fiancheggiati ciascuno da due depressioni. Sempre e poi sempre però il detrito glaciale rimarrà diviso e distribuito secondo i due versanti della valle, o del sistema di valli, rilevandosi tra i due detriti una barriera insuperabile. In qualche caso però, molto eccezionale, la superficie del ghiacciajo, preso nel suo complesso, è concava in luogo di esser convessa. Io non conosco che un esempio spiccato di questa forma, ed è quello offertoci dal ghiacciajo del Vernagt, nella valle dell'Oetz, come è descritto da Sonklar, citato da RECLUS (*La terre*, pag 244). Ma non è altro che il caso, dirò, esagerato dell'influenza delle morene sulla forma del ghiacciajo. Le morene laterali del Vernagt si sono sviluppate talmente, che del ghiacciajo, largo 750 metri, non rimane a nudo che una zona media longitudinale di circa 150 metri, cioè la porzione compresa nel profilo (Fig. 36) tra le due perpendicolari *A B*. Le zone laterali enormi, coperte di detrito, dovettero rilevarsi assai in confronto della media, esposta ai raggi estivi. Qui si può dire che i fianchi della valle sono costituiti dalle morene laterali. Ma il ghiacciajo, per quanto ridotto, non tradisce la legge generale, formando tra le perpendicolari *A B* un forte rilievo, che rende impossibile la miscela del detrito dei due versanti.

morena mediana dell'Aar misura così 42 metri di altezza. La ragione sta in ciò che il detrito esercita un' azione protettrice contro l' ablazione. Il rilievo è piuttosto di ghiaccio conservato che di detrito. Succede in grande per le morene ciò che in piccolo si osserva nelle *tavole dei ghiacciai*. Perchè il detrito eserciti questa sua azione, ha d'uopo di un certo spessore. I piccoli ciottoli isolati producono, per la loro conduttività, la fusione del ghiaccio sottoposto, e si sprofondano nel ghiacciajo. I grossi massi invece ombreggiano, per esprimermi volgarmente, il ghiaccio che, conservandosi entro un ambito depresso dell'ablazione, si eleva formando piedestallo al masso protettore. I cumuli sabbiosi, essendo più coibenti, sono i migliori preservatori. La morena, composta di massi, di sabbie e d'ogni genere di detrito, preserva il ghiaccio su tutta la linea, e finisce ad assumere, come dissi, la forma di un cordone rilevato sulla superficie del ghiacciajo.

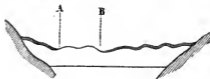



Fig. 36. Profilo del ghiacciajo di Vernagt.

417. La morena, nulla o appena accennata all'origine, va accrescendosi a valle, talora smisuratamente. L'accrescimento non è apparente, ma reale. La morena mediana dell'Aar, larga 75 metri verso l'origine, si allarga verso la foce fino a 750 metri, conservando lo stesso spessore. Talora il ghiacciajo scompare sotto le morene così dilatate. Come avviene mai ciò?

418. Finchè si tratta di morene laterali, sempre soggette a ricevere nuovo tributo dalle frane, il loro incremento, fino a un certo punto, si spiega. La ragione però non vale per le morene mediane, le quali, isolate in mezzo al ghiacciajo, sono difese dalle incursioni di nuovi materiali. Come mai cresce, p. es., così smisuratamente la morena mediana dell'Aar (Fig. 32)? Talora anzi veggonsi le morene intermedie, nulle, o appena accennate all'origine, spuntare e crescere, quasi nascessero dalle viscere del ghiacciajo. Quasi tutte le morene della Pasterze (Fig. 31) presentano il fenomeno, il quale è mostrato in tutta la sua evidenza dal seguente diagramma (Fig. 37) tolto dall'opera già citata degli Schlagintweit, che offre in bella prospettiva lo sviluppo delle morene, e principalmente il nascere della gran morena mediana, la quale si mostra, a breve distanza dalla sua origine, così colossale.

419. Per intendere il fenomeno, e cavarne le importanti conclusioni che ne derivano, bisogna riflettere che il ghiacciajo ha due periodi di evoluzione, l'uno contrario all'altro. Nel primo periodo il ghiacciajo si fa, e questo periodo si compie entro le regioni delle nevi perpetue, ove le nevi annuali,

o cadendo dalle nubi, o franando dalle alture entro l'area del circo, creano, strato sopra strato, il ghiacciajo. I massi, che franano dalle alture scoperte nella regione ove il ghiacciajo si fa, sono inghiottiti dal ghiacciajo, sepolti cioè dagli strati successivi, e discendono così coperti,

Fig. 37. Gruppo delle morene della Pasterze.

seguendone il moto progressivo. Nel secondo periodo il ghiacciajo si disfa, e ciò avviene nella regione della ablazione, che strugge successivamente gli strati dal sommo all'imo, finchè tutto il ghiaccio scompaja. I massi, che franano in questa regione, rimangono naturalmente sulla superficie del ghiacciajo, non potendo più essere sepolti da nuovi strati: anzi gli stessi sepolti risorgono, mano mano che è disciolto il ghiaccio che li ricopriva. Gli alpigiani indicano, con linguaggio poetico, questo riapparire dei corpi inghiottiti dal ghiacciajo, dicendo che il ghiacciajo vomita tutto ciò che ha nell'interno. È in questa guisa che le morene crescono continuamente, anche sottratte all'incursione di nuove frane.

420. La figura seguente mette in evidenza il fenomeno. Essa rappresenta la sezione longitudinale di un ghiacciajo, che si suppone composto di 7 strati, nel tronco inferiore. La curva $a\,b$ rappresenta la superficie del ghiacciajo, mantenuta costante dall'ablazione, che, struggendoli, vi arresta il moto progressivo degli strati. Lo strato inferiore soltanto può raggiungere il limite massimo del ghiacciajo, ossia il punto b. I massi invece, come quelli che non si struggono, movendosi col ghiacciajo, sono destinati: 1.° a trovarsi successivamente sulla sua superficie, 2.° a rag-

giungere tutti il limite massimo, cioè il punto *b*, dove cessa anche per loro il moto di traslazione. Prendiamo i massi 1-7, che si trovano sulla perpendicolare *c d*. Supposto il moto uniforme (ciò che non nuoce alla dimostrazione), quei sette massi si avanzano tutti insieme, come si avanza il ghiac-

Fig. 38. Accrescimento delle morene per ablazione.

ciajo. Quando il masso n° 1 ha raggiunto la perpendicolare *e f*, anche gli altri massi si troveranno sulla stessa perpendicolare. Ma lo strato superiore *a* è scomparso, e il masso n° 2 si trova alla superficie col masso n° 1, continuando con lui il suo movimento verso la perpendicolare *g h*, dove, scomparso anche lo strato *a'*, si trova raggiunto dal masso n° 3. Così di seguito, finchè al masso n° 1 si uniscono, l'uno dopo l'altro, tutti gli altri, e tutti insieme arrivano a formare la morena frontale nel punto *b*.

421. Mentre vediamo in che modo definitivamente si formano e crescono le morene, non dobbiamo perdere di vista l'altro fatto, che il detrito, benchè derivato dalla stessa sorgente, arriva a formar la morena per due diverse vie, parte camminando allo scoperto sulla superficie del ghiacciajo, parte invece, quasi direi, attraverso le viscere stesse del ghiacciajo. Vedremo ben tosto quali sieno le conseguenze di questo fatto, e come per esso i depositi glaciali presentino due forme di detrito, ambedue assai caratteristiche.

422. Continuando ora la rassegna dei fenomeni, che si riferiscono alla superficie superiore del ghiacciajo, ci resta a domandarci: perchè le morene mediane, distinte e separate talora da larga zona di ghiaccio, vengono a fondersi fra loro, anzi ordinariamente a riunirsi a una delle morene laterali? Le quattro morene mediane della Mer de glace (Fig. 30) si fondono colla morena laterale destra. Quelle della Pasterze (Fig. 31) si fondono, le destre colla morena laterale destra, le sinistre colla morena laterale sinistra. Osservate però che la Mer de glace risulta dalla confluenza di due ghiacciai, uno alla sinistra: il ghiacciajo Tacul, un po' più largo e poderoso dell'altro; a destra, il ghiacciajo di Lechaux, verso il cui lato confluiscono le morene. Nella Pasterze osserviamo ugualmente due grandi ghiacciai confluenti; ma il sinistro, di lunga mano più vasto, ha dei piccoli confluenti le cui morene si fondono colla sua morena laterale sinistra; mentre la sua morena laterale

destra riceve le morene del minor ghiacciajo a destra e quelle de' suoi confluenti. In entrambi i casi (e i due valgono per moltissimi casi somiglianti) il tronco inferiore risulta d'un solo ghiacciajo fiancheggiato dalle due morene laterali, in cui si fondono tutte le altre morene. In fine il lato ove si fondono le morene è fisso, è quello, cioè, che è occupato dai minori affluenti. Il più piccolo confluente è il primo a fondere con altro la sua morena; in seguito gli altri, in ordine di grandezza, finchè rimane solo il più grande, che si è fatto di tutte le altre le proprie morene laterali [1]. La teoria degli Schlagintweit è in proposito assai ragionata. I ghiacciai, essendo, per quanto plastiche, correnti solide, mantengono la loro individualità, honchè sembrino per reciproco contatto fondersi in uno. Un piccolo ghiacciajo non può far equilibrio ad un grande, che, tendendo ad espandersi, lo preme sui lati; perciò si alza, si allunga e si assottiglia, fino a tanto che termini in punta acuta, occupando quello spazio, che, in un dato ghiacciajò composto, si compete alla sua massa, come a parte del tutto. Dove finisce in punta là succede la fusione delle sue morene. Allungandosi, cresce di superficie, e raggiunge un livello più basso, dove più facile è l'ablazione. Là rimane stazionario, l'ablazione superficiale facendo equilibrio all'afflusso che tenderebbe ad aumentarlo. Insomma il ghiacciajo più piccolo sbocca nel grande, e vi si mantiene, come si manterrebbe un ghiacciajo che terminasse in una valle a fondo cieco, occupando sufficiente estensione, perchè l'ablazione ne impedisca l'accrescimento.

423. Tutte le morene giungono allo sblocco del ghiacciajo, cioè dove il ghiaccio si scioglie interamente, abbandonando a giacere tutto il detrito. Appena che il ghiacciajo sia potente, l'allargamento delle sue morene finisce a coprire totalmente, o quasi totalmente, la fronte del ghiacciajo stesso, che, per le leggi che ne governano il moto, è, come gli *ogivi*, curvilinea. Essa è anzi l'ultimo ogivo (Fig. 30 e 31). Il detrito, che vi si accumula, forma una specie di collina ogivale o arcuata, che abbraccia la fronte del ghiacciajo, e si prolunga sui suoi lati, continuandosi colle *morene laterali*, da cui nasce. Questa specie di recinto è la *morena frontale*. Siccome ad essa si riducono tutti i materiali delle morene laterali e intermedie, così è naturale che si mostri più delle altre sviluppata. Anzi le morene laterali e intermedie, finchè restano dipendenti dal ghiacciajo, non sono,

---

[1] Sul ghiacciajo della Pasterze (Fig. 31) veggonsi due morene incrociarsi, poi tosto riunirsi in una. Su quello dell'Aar (Fig. 32) una morena si biforca, e un ramo va a riunirsi alla sua vicina. Bisognerebbe studiare sul luogo le ragioni di tali parzialità. Però anche questi ghiacciai, lungi dal costituire una eccezione, possono anzi considerarsi, principalmente il primo, come tipici pel fenomeno della confluenza delle morene nel senso espresso, fenomeno che si può dire del resto assolutamente generale.

per dir così, che transitorie: la *morena frontale* invece resta: è come lo stagno senza emissario, che riceve gli affluenti, ed è quindi suscettiva di accrescimento indefinito, semprechè, s'intende, il ghiacciajo non muti considerevolmente, oscillando, la linea della sua fronte [1]. Chi vuole avere un'idea della potenza che può raggiungere una morena frontale, si rechi al ghiacciajo del Monte Rosa (Fig. 40, § 436) in fondo alla Valle Anzasca. Circa un'ora a monte di Macugnaga, previo un gran campo di alluvioni caotiche, la valle, che vi è molto larga, vedesi come sbarrata da una montagna, che tocca da destra a sinistra, e toglie la vista del ghiacciajo, eccetto in un punto, ove fu messo a nudo da una rotta, di cui diremo. Questo occupa la porzione superiore della valle, finchè, diviso ne'suoi quattro confluenti, si radica sulle bianche pendici del Monte Rosa. Per dominarlo, le guide vi condurranno sul Belvedere, cioè sulla cima di quella barriera [2], e di là lo vedrete raccogliersi quasi entro un bacino elittico, chiuso a monte dal Rosa, sui lati da due formidabili morene laterali, e a valle da quella montagna che avete ascesa. Essa non è altro che la morena frontale, che ha forma quasi di una montagna geminata, ossia a due creste parallele, di cui l'una si leva forse 150 metri, e l'altra, la più interna, 200 metri sul livello del piano sottoposto. La morena frontale soffoca, per dir così, il ghiacciajo, e gli incombe in guisa che il torrente, l'Anza, incapace a mantenersi un libero sbocco (salvo una porticina di 5 o 6 metri di luce sulla sinistra), sbuca di sotterra, diviso in molte sorgenti, alla base di quella mostruosa barriera. Avvertasi però che quella morena, in quel posto, non può aver meno, così qual'è, di 5 o 6 secoli, coperta com'essa vedesi da una foresta di abeti (*Abies excelsa*) del diametro di 1m,25. Quella morena è lavoro forse di molte migliaja d'anni.

424. Ma noi abbiamo veduto che i ghiacciaî si allungano, si accorciano, si alzano, si abbassano, talora considerevolmente. Effetto di tali oscillazioni è appunto lo spostamento e la distribuzione delle morene. Ogni corpo, che non possa far equilibrio all'espansione del ghiacciajo, è da lui spostato e cacciato innanzi. Talora i ghiacciaî, p. es., invadono foreste e abitati; gli alberi sono sradicati, le case atterrate. Per la stessa ragione se un ghiacciajo, formata una morena sulla sua fronte,

[1] Ciò vale pe' ghiacciai nelle condizioni più normali, per quelli cioè che sboccano in una valle larga, o meglio ancora nella libera pianura. In questo caso il ghiacciajo ha tutto l'agio di arrotondarsi, e di allargare la cerchia della morena frontale, la quale non sarà rotta che dalla *porta del ghiacciajo* e dal fiume che ne sbocca. Se il ghiacciajo invece mettesse foce a un precipizio, o dentro una gora angusta, i massi cadrebbero, o sarebbero travolti dal torrente, sicchè la morena frontale, mano mano che si fa, si disfarebbe.

[2] Il Belvedere è la vetta della eminenza rivestita di abeti, sulla sinistra, osservando la figura.

ha un periodo di progresso, spinge innanzi a sè la morena formata, e la ricostrnisce, per dir così, più lontano. Se poi retrocede, qnella morena resta monumento del suo progresso, ed una nnova morena frontale interna, concentrica alla prima, si edifica. È naturale che possa aver luogo così una serie di morene scaglionate, che corrispondano ad altrettanti periodi di regressi e di sosta. Lo stesso avrà lnogo sni lati, ove le morene si arresteranno a differenti livelli, in forma di colline lineari, parallele, costitnendo quasi una serie di terrazzi, ossia una gradinata. Una serie di morene laterali e frontali osservasi, si può dire, all'intorno di ogni ghiacciajo. I ghiacciaî della Mer de glace (Fig. 30), dello Zermatt, ecc., ne porgono bellissimi esempi. L'abbandono della morena laterale mi si mostrò evidentissimo al ghiacciajo del Roseg (Bernina) nel 1862, per effetto del regresso, dovuto al caldo eccezionale dell'estate del 1861. Camminando infatti lnngo la sponda sinistra del ghiacciajo, osservai, alla distanza di forse 60 metri, del grosso detrito, indizio certo di un'antica morena d'epoca ignota. Tra qnesta morena e il ghiacciajo sorgeva una serie di colli arrotondati, testimonî anch'essi, come vedremo, dell'antico sviluppo del ghiacciajo. Ma tra i colli arrotondati e lo stesso ghiacciajo, alla distanza fin di circa 30 metri da questo, era allineata, mirabilmente intatta e fresca come formata jeri, una vera morena, un cumulo allungato di detrito in grossi massi. Era la morena del 1860, abbandonata dal ghiacciajo che, ritraendosi, come dissi, per effetto degli eccezionali calori del 1861, edificava già la terza morena laterale[1]. Diversi tratti di quella morena laterale offrivano nn bell'esempio di ciò che io chiamo *morena insinuata*.

---

[1] Questi ultimi anni (dal 1861 al 1870) segnano no periodo di regresso noiversale dei ghiacciai alpini, dovnto alla dolcezza della temperatnra, e alla scarsità delle nevi e delle pioggie, principalmente sul versaoti italiani. Nel 1864 visitai il ghiacciajo del Forno sopra S. Catterina di Bormio in Val Furva. Il suo tronco inferiore rade colla destra, per un chilometro circa, nn pendio ripido, noo tanto però che il detrito incoerente uon possa arrestarvisi. I calori degli anni precedenti avevano dimagrato il ghiacciajo in guisa, da obbligarlo ad abbandonare la sua morena laterale, la quale si vedeva staccarsi dal piano erboso a foggia di una diga, o di un gran cumulo lineare di massi accatastati, per la lunghezza un di chilometro. Bisognava scavalcare quella diga, e discendere parecchi metri, per trovare il ghiacciajo, che stava rifabbricando più basso la sua morena. Nel corrente anno (1870) visitai il ghiacciajo del M. Rosa in Valle Anzasca. Egli aveva perduto forse 30^m di spessore, e 40^m di larghezza per ciascun lato. Taoto era indicato dalle due morene laterali, rimaste in forma di due cumuli enormi di detrito, che sovrastavano al ghiacciajo, il quale figurava come un fiume in magra, incassato profondamente tra due argini rovinosi.

A qnest'nltimo periodo di aoni penso si debba attribuire principalmeote il regresso verificato di parecchi ghiacciai alpini. Il ghiacciajo di Mendron (gruppo del monte Adamello in Tirolo) perdette 20 metri nel 1864; il ghiacciajo di Tour (Valle di Chamouny) ne perdette 520 dal 1854 in poi: quello dei Bois 388 dal 1826 al 1865: quello dei Bossons 332, e quello di Argentièra 181 dal 1854 al 1866.

425. L'importanza del fatto nell'applicazione geologica, mi induce a distinguere col nome di *morena insinuata* l'accumulamento detritico, che si forma nei seni laterali al ghiacciajo, i quali possono avere una grande estensione, fino a dar luogo a ghiacciaî laterali a fondo cieco, nutriti dal principale, quando un bacino a valle si apre da un lato del ghiacciajo sotto il livello del ghiacciajo stesso. Il ghiacciajo, gonfiandosi, come si avanza, si dilata e s'insinua. La morena laterale ubbidisce al moto espansivo, e s'insinua anch'essa. Una volta che un masso siasi insinuato, rimane, per così dire, prigione. I seni dove espande il ghiacciajo, possono paragonarsi a quelli ove si insinua l'acqua di una corrente. Abbiam veduto che i seni laterali alle correnti sono specie di stagni, presto colmati dal detrito che, portatovi dal moto d'espansione laterale, non trova più via di uscire[1]. In tali seni si accumula dunque il detrito glaciale. Succede un periodo di regresso? Se è abbandonata la morena laterale in genere, tanto più lo saranno quei cumuli insinuati, poichè il ritirarsi del ghiacciajo, deve essere colà più rapido, essendo maggiore l'ablazione là, dove naturalmente v'ha meno spessore di ghiaccio, e maggiore quantità di calorico irradiato dal fondo e dalle sponde. Quei cumuli restano, e son quelli che si chiamano *morene insinuate*. Ne mostra di imponenti, tanto sulla destra quanto sulla sinistra, la topografia della Mer de glace (Fig. 30). Vi si vede chiaramente come il ghiacciajo, insinuandosi, contornò le eminenze laterali, e andò a formare le sue morene nei seni più riposti dietro di loro. L'importanza di tali morene, non altro infine che porzioni delle laterali, sta in ciò, che la morena laterale, non potendo spesso arrestarsi sul troppo erto pendio, segue il ghiacciajo nel suo ritiro; ma ne restano, a monumento della oscillazione del ghiacciajo, le porzioni *insinuate*.

426. Può avvenire che il ghiacciajo nel suo corso incontri un ostacolo insuperabile, p. es., una rupe, una montagna che sorga a sbarrargli il cammino. Allora egli rigurgita, finchè non trovi per altra parte una uscita. Nel caso che l'ostacolo sia isolato, e lasci dei meati laterali, il ghiacciajo si dividerà in due parti corrispondenti ai due meati, cin-

---

[1] Uoa volta che nn seno laterale alla valle sia ripieno, per effetto dell'espaodimento laterole del ghiacciajo, il ghiaccio che vi è riochiuso non può che fare equilibrio al ghiacciajo, cioè livellarsi con esso, rimanendo stagnaote, come ovvieoe oelle laoche, o seni profondi, che si internano sui lati di un fiume, ove l'acqua stagna in guisa da coovertirle in vere paludi. Ma nel seno supposto non manca, anzi deve essere, per effetto della irradiazione del suolo all'iogiro, più forte l'ablazione. Perchè si mantenga l'equilibrio, è necessario uo afflusso continuo di ghiaccio dal ghiacciajo entro il seno; onde un contiouo afflusso di detrito, che rimarrà stagnante, e finirà a colmare il seno ioteramente. Insisto su questo fatto, perchè vedremo quale importanza abbiano le *morene insinuote* nella teoria degli antichi ghiacciai, da cui si nomina l'*epoca glaciale*.

gendo l'ostacolo. Se l'ostacolo si imbatte sulla linea di una morena, anch'essa sarà divisa, e per effetto delle oscillazioni del ghiacciajo, le morene potranno esser abbandonate sull'ostacolo a differenti livelli. Tipica è la morena d'ostacolo già indicata alla base della eminenza, che divide, al suo shocco, il ghiacciajo della Pasterze (Fig. 31). È importante il notare come la *morena d'ostacolo* o *di rivestimento* non potrà constare che di roccie componenti morene intermedie.

Le morene stanno fra i monumenti geologici più stupendi. Distrutto il ghiacciajo, le morene ne attesteranno la passata esistenza non solo, ma il massimo limite del suo sviluppo, e le fasi del suo regresso e della sua scomparsa. Il modo di loro formazione, di loro distribuzione, di loro composizione, ecc., ci offre altrettante caratteristiche per distinguerle da qualunque altra formazione detritica. Altre caratteristiche andremo scoprendo; ma intanto non è egli vero che, supposto che un ghiacciajo si dilegui, le morene ci insegnerebbero a rifarlo?

427. Veniamo agli effetti permanenti che si riportano alla superficie inferiore del ghiacciajo. Allo shocco del ghiacciajo si vede che egli è più o meno distaccato dal suolo: sopratutto dalla *porta*, donde sbocca il torrente, si può penetrare, colle debite cautele, fino ad un certo punto. La porta non è che la foco d'un torrente principale che, quanto più si interna, tanto più si dirama in canali secondarì. Un Oberlandese, caduto per un crepaccio in fondo al giacchiajo, potè scamparla con tre ore di angoscioso cammino pel labirinto dei canali. È naturale che tali cavità siano prodotte dall'eccesso di temperatura dell'acqua di infiltrazione, cui si aggiunge il giro dell'aria che vi circola, sicchè i montanari dicono: il ghiacciajo soffia. Le *caverne* sono accidenti analoghi.

428. Salvo il tanto occupato da tali cavità, il ghiacciajo posa sul fondo, e vi si modella esattamente, per la sua plasticità, come un pasticcio nella forma. Tra la sua superficie e la roccia havvi, come dissi, uno strato mobile di ciottoli, di fango, ecc. La superficie inferiore del ghiacciajo poi è apparentemente affatto liscia, ma in realtà è scabra, cioè armata di punte, e sono i granelli di sabbia, i ciottoli imprigionati, ecc.[1]

[1] Il detrito morenico, ossia il prodotto delle frane, non si dilata oltre i limiti delle morene, le quali non segnano, per lo più, che delle zone longitudinali, parallele, relativamente molto sottili, tra cui si mostrano a nudo larghissime zone di ghiaccio puro, talvolta candidissimo. Tale purezza però non è che relativa. Senza cercare altre ragioni, ognun vede come ogni soffio di vento alpino deve recare nembi di polvere sulla superficie del ghiacciajo, e delle nevi destinate ad alimentarlo. Ogni atomo di polvere quarzosa incastonato nel ghiaccio diviene, a far tempo, una punta di diamante per le roccie a contatto, ed ogni centimetro quadrato della superficie inferiore del ghiacciajo può contare un migliaio di tali punte.

Lo stesso dicasi dei fianchi del ghiacciajo. Quale effetto produrrà quindi il ghiacciajo in movimento? Immaginatevi una lima, che strisci sotto mano pesantissima sulla superficie di un corpo intaccabile. L'asprezza stessa del ghiacciajo è ajutata dallo strato mobile ridotto a smeriglio impalpabile, il quale è fangoso se le roccie della valle sono serpentinose, marnose, ecc., sabbioso se le roccie sono di quarzo, ecc.

429. Ecco gli effetti principali del ghiacciajo in movimento.

1.° Liscia le pareti a contatto col ghiacciajo, il fondo. Il liscio per certe roccie, come serpentine, riesce splendente.

2.° Le pareti e il fondo rimangono impresse da finissime strie e da profonde scanalature parallele, secondo la direzione del ghiacciajo. È inutile il dire che le strie e le scanalature sono impresse da una roccia più dura, sfregata contro la più molle, come dal granito contro il serpentino. Tuttavia parlandosi delle roccie in posto, non è nemmen necessario lo sfregamento di una roccia più dura contro la più molle per produrre il liscio. Un corpo duro, strofinato da un corpo più molle, acquista ugualmente il liscio; tanto più poi se si strofinano fra loro due corpi di identica natura, e quindi di identica durezza. Così, per esempio, sul Gottardo il gneiss granitico, che può considerarsi come la roccia più dura di quei monti, è mirabilmente lisciato, arrotondato e striato.

3.° Le parti avanzate sulle sponde, o prominenti dal fondo, sono crose e arrotondate.

4.° Dalla morena laterale cadendo continuamente massi nel vacuo che l' ablazione produce tra la sponda e il fianco del ghiacciajo, questi rimangono stritolati.

5.° Il prodotto dell'erosione, dello stritolamento, ecc., è appunto lo strato detritico che s' intromette tra il ghiacciajo e il fondo, e alimenta la torbida del torrente che esce dal ghiacciajo.

430. Le roccie o rupi lisciate, striate, arrotondate (*roches moutonnées* dei Francesi) costituiscono, lo vedremo, uno dei tratti più saglienti delle regioni percorse dagli antichi ghiacciaî. Naturalmente tutto questo lavoro del ghiacciajo non si scorge, se non quando il ghiacciajo lo scopre ritirandosi. Anche i ghiacciaî attuali ne offrono però dei saggi imponenti, o dentro la zona delle oscillazioni annuali o in prossimità di essa, dove anche il complesso degli altri indizî mostra che il ghiacciajo si avanzava in epoca non molto antica. Il granito, lasciato scoperto dal ghiacciajo del Roseg nel 1861-62, mostravasi bianco e arrotondato, come fosse stato allora allora lavorato dallo scalpellino. Nei punti più bassi, da dove il ghiacciajo si era recentemente ritirato, ho potuto raccogliere il fango, il quale, a guisa di smeriglio impalpabile, aveva servito all' occulto

lavoro. Del resto sui limiti de' ghiacciai alpini, come si scoprono morene abbandonate, così si osservano striature liscie e arrotondamenti cospicui. L' *Atlante* di Agassiz, già più volte citato, offre vedute superbe dei colli arrotondati che fiancheggiano il ghiacciajo di Zermatt.

Fig. 39. Parte terminale del ghiacciajo di Visch.

431. Basti a darne un'idea il disegno della parte terminale del ghiacciajo di Visch, tolto dall'opera citata. Il ghiacciajo, come si vede, si arresta sul ciglio di un salto; sicchè il torrente, che ne sbuca, si precipita, formando una cascata. La morena frontale, ben delineata sullo stesso ciglio, è in via di sfasciarsi, come lo mostrano i massi che franano al basso. Ma le pareti della valle, che si avanzano oltre i limiti del ghiacciajo, sono lisciate a guisa di marmoree muraglie, e le rupi, sporgenti dal fondo, ove ora precipita il torrente, sono ridotte in forma di cumuli arrotondati e lisci. Tutto ci dice come il ghiacciajo di Visch sorpassò di molto l'attuale linea di confine, e fu allora che, sotto la potente lima, le pareti furono lisciate dai fianchi, e le rupi arrotondate e lisciate dal fondo, di esso ghiacciajo.

432. Gli effetti, riferibili all'interno del ghiacciajo, riguardano unicamente il detrito, che vi è impigliato. Accade ai massi investiti dal ghiac-

ciajo ciò che sarà avvenuto a voi, quando vi trovaste trasciuati dall'onda di una folla. Finchè la folla fluiva con moto uniforme, voi potevate secondarla, senza rimanerne urtati, scossi, laceri o acciaccati. Tali sventure vi toccarono invece quando, per una causa qualunque, lo scompiglio s'impossessò della folla, e quelli cho la componevano cercarono di avanzarsi l'un l'altro, o di prendere diverse direzioni. I frantumi impigliati nel ghiacciajo, dal granello alla rupe, camminano appunto, come quella folla, pigiati l'uno contro l'altro, portati dal ghiaccio, da monte a valle. Ma noi abbiamo veduto che il moto del ghiacciajo non è uniforme: anzi, se avete comprese le leggi che governano i movimenti dei ghiacciai, comprenderete anche, come non vi possa essere un atomo di ghiaccio, che abbia l'identico grado di movimento di quello, che gli sta sotto o sopra o ai lati. Per effetto della plasticità le diverse particelle di ghiaccio, benchè dotato di diverso movimento, possono fluire insieme, come fluiscono i liquidi o le masse pastose. Ciò non può dirsi dei massi, i quali potranno essere, nelle diverse parti, sollecitati da movimenti diversi, soggetti a diverse pressioni. Prima conseguenza di tali squilibri sarà il facile fratturarsi di quei massi, cho tenderanno a dividersi in massi sempre minori. Se ciò avviene di ciascun masso considerato isolatamente, peggio avverrà pel contatto fra loro, principalmente sullo zone che corrispondono alle morene. Bisogna anche riflettere che il detrito è talora di assai diversa natura: nella stessa morena voi potrete raccogliere il durissimo quarzo, o il granito che lo contiene, col molle serpentino o col calcare. Questi massi, i duri coi teneri, trasportati dal ghiacciajo, sono animati da moti diversi, sicchè a vicenda, o si avanzano, o si lasciano avanzare. In tutti i casi, quando siano a contatto, si sfregheranno, e il più veloce lascierà un solco sul più lento, o lo riporterà egli stesso, secondo che l'uno o l'altro è più duro. Non occorre il ripetere che basta un granello microscopico a segnare un solco, e che tutto il ghiacciajo è appunto armato di tali ceselli. In fino avviene del detrito interno ciò che abbiamo veduto accadere delle rupi, le quali fiancheggiano o sopportano il ghiacciajo: anche i ciottoli risultano arrotondati, lisciati, striati. La differenza tuttavia è grande: le rocce in posto (essendo immobili, e percorso dal ghiacciajo che fluisce sempre nello stesso senso) riterranno per loro caratteristica principale il pararellelismo delle strie di meravigliosa esattozza. Non così i ciottoli interni, i quali, soggetti a moversi, a rotolarsi, a divergere, secondo che la corrente li spinge nei diversi punti, oltre al rimanere rotti e ammaccati, saranno striati in tutti i sensi. Non è a dire come esca straziato dal ghiacciajo un ciottolo, supponiamo di serpentino o di calcare, che ha dovuto viaggiare coi graniti o colle roccie anfiboliche.

433. Apparirà ora quanto sia vera, e quanto sia importante la distinzione già stabilita tra le due forme di detrito che compongono le morene. Il detrito che cade sul ghiacciajo, nella regione dove il ghiacciajo si disfa, cammina sicuro da ogni oltraggio, portato soavemente sul dorso del ghiacciajo che intatto lo depone al termine del suo cammino. I massi, anzi le rupi a spigoli vivi, che già da secoli discendono lentamente dalle Alpi, sul dorso de' ghiacciai, sono quelli che danno alle morene quel non so che di strano e di pittoresco che non manca mai di produrre una viva impressione sull'osservatore. Le figure riportate, principalmente quella dell'Aar (Fig. 30), e quella della Pasterze (Fig. 37), ve ne porgono esempî. Ove le montagne, che fiancheggiano i ghiacciai, sono facili a sfasciarsi e a scoscendere, le morene laterali e frontali non hanno più altro che l'aspetto di ciclopiche cataste di rupi. Riflettasi anche come una rupe, staccata da una cima delle Alpi, possa venir portata, se fa d'uopo, a centinaja di chilometri di distanza, senza aver nemmeno guasto uno spigolo.

434. L'altro detrito invece, che è rigettato dal ghiacciajo, sarà ugualmente caratteristico, ma precisamente pei caratteri opposti. Massi e ciottoli saranno guasti, smussati, arrotondati in tutte le foggie più irregolari, ammaccati, scheggiati, lisciati, e nel modo più irregolare striati. Noterò anche come il detrito di rigetto risulterà composto in massa di elementi di volume assai minore. I grandi massi appartengono sempre al detrito superficiale. Un masso di riguardevoli dimensioni non può rimanere un tempo appena lungo in seno al ghiacciajo senza frantumarsi.

435. Bisogna ora dare uno sguardo a quell'altro agente più universale, che qui associa la sua vigorosa azione a quella del ghiacciajo, e la continua da solo, quando quella del ghiacciajo è già cessata. L'acqua, che penetra il ghiacciajo, e tutto lo imbeve, principalmente durante i calori estivi, riesce, come abbiam detto, sul fondo, e guadagna la porta del ghiacciajo. Si può dire che tutti i fiumi alpini riconoscono da un ghiacciajo le loro perenni sorgenti. La quantità d'acqua è naturalmente proporzionale alla massa del ghiacciajo e alla potenza dell'ablazione maggiore o minore secondo le stagioni. Dalla porta di un grande ghiacciajo, in una giornata d'estate, sbuca un torrente paragonabile ai maggiori torrenti delle nostre prealpi. Verso sera principalmente, quando arriva sul fondo il disgelo di un cocente meriggio, il torrente esce turbinoso e torbido, trascinando seco il fango rinnovato continuamente dallo sfregamento di quella lima gigantesca. Quel fango verrà deposto, sotto forma di alluvione, a indefinite distanze lungo le valli, nei piani, nei laghi. Lo stesso torrente corrode e demolisce la morena frontale, tras-

portandone ed elaborandone il detrito di un volume corrispondente alla sua forza erosiva. A valle del ghiacciajo avremo dunque un sistema di alluvioni, più o meno vasto, più o meno potente, la cui origine fluvio-glaciale (quando anche il ghiacciajo scomparisse) sarà messa in chiaro da' suoi rapporti topografici coll' *apparato glaciale*, col sistema cioè delle morene, delle roccie lisciate, striate, arrotondate, e via discorrendo.

436. Qui non si è preso di mira che il processo ordinario e continuo. L'esperienza però c'insegna, che possono aver luogo straordinarie irruzioni torrenziali, dei veri diluvî (*débacles*, come li chiamano i Francesi), il cui prodotto, consistente in enormi spandimenti di massi glaciali d'ogni

Fig. 40. Breccia prodotta da una irruzione torrenziale nella morena frontale del ghiacciajo di Macugnaga.

forma e d'ogni dimensione a valle del ghiacciajo, sarà riconoscibile per la stessa sua forma caotica. Ne darò un esempio. Nell' agosto del 1868, in seguito a grossi temporali e a pioggie continuate, il grande ghiacciajo del Monte Rosa, sopra Macugnaga, dovette trovarsi così inzuppato, da determinare una potente pressione idrostatica contro quella enorme morena frontale, che si addossa al ghiacciajo, sbarrando la valle (§ 423). Infatti quella colossale barriera fu d'improvviso forzata, e con fragore simile al tuono si aprì da cima a fondo una breccia della larghezza di 60 a 70 metri. Il piano erboso tra Macugnaga e la morena, sulla estensione di un chilometro quadrato e più, non è altro che una secca di massi che mi-

surano fin da 4 a 8 metri cubici. La breccia vedesi ancor oggi così fresca e rovinosa, come si quel cataclisma fosse avvenuto jeri.

437. Tolgo dall'album della signora Maria Giulini, per gentile accondiscendenza dell'autrice, l'unito disegno, che mette in tutta evidenza un fenomeno così interessante. Sullo sfondo, a sinistra dell'osservatore, sorge la cima maggiore del Monte Rosa, formante, colle sue dipendenze, il vasto *circo*, da cui deriva il ghiacciajo. La regione media del quadro è occupato dalla gran *morena frontale*, in forma di alta collina, intatta e coperta di abeti sulla sinistra, guasta invece nel mezzo da vasta e profonda squarciatura, causata dalla rotta del 1868. In fondo alla squarciatura si osserva a nudo la fronte, quasi verticale del ghiacciajo, sopra cui si presenta in iscorcio il piano dello stesso ghiacciajo. Alla base di quella parete di ghiaccio si vede la piccola *porta* del ghiacciajo, da cui sbuca un ramo dell'Anza, che, attraversata la breccia, si perde tra i massi di cui la rotta coperse il piano, che si stende alla base del quadro.

438. Vi ha un altro caso in cui l'azione dell'acqua si associa immediatamente a quella del ghiacciajo. Discendendo esso lungo la valle principale fin nelle regioni più temperate, sarà frequente il caso, in cui venga a buttarsi attraverso una valle confluente, che verrà così sbarrata al suo sbocco. Le acque pluviali o fluenti da un ghiacciajo esistente all'origine della valle sbarrata, si arresteranno davanti a quell'argine di ghiaccio, e determineranno la formazione di un lago laterale al ghiacciajo. Ecco come lateralmente a un ghiacciajo possa formarsi un deposito lacustre. Si badi bene al fatto, che in questo caso la sponda del lago a valle verrà costituita dallo stesso ghiacciajo, o meglio dalla morena laterale di esso. Essa morena, sfasciandosi da sè come suole sul lembo del ghiacciaio, o più rapidamente demolita dalle onde, che la scalzano, e le sottraggono la base, fondendo il ghiaccio, darà origine a un deposito *lacustro-glaciale*. Oltre ai rapporti coll'apparato glaciale, che riveleranno facilmente l'origine di quel deposito eccezionale, avremo, per controprova, un fenomeno, sul quale pure fermo la vostra attenzione. Il lago glaciale potrà co'suoi ondeggiamenti distribuire in letti regolari di ghiaje, di sabbie, di fanghi, il minore detrito della morena; ma non potrà certo smovere i massi di un certo volume, i quali si precipitano sul fondo. Ne risulterà un deposito di strati regolari, ad elementi fini, sparso irregolarmente di ciottoli e massi o striati e arrotondati, o a spigoli intatti. Così una rupe di molte decine di metri cubici potrà trovarsi impigliata in un letto di finissima sabbia, testimonio irrefragabile dell'origine mista di quel deposito.

439. Molti di questi laghi glaciali si trovano nelle Alpi. Il ghiacciajo di Aletsch tiene sospeso, colla sua diga enorme il lago di Mœril, che è

tenuto in comunicazione colla valle del Rodano, mediante un canale artificiale di scolo. Il gran ghiacciajo dell'Oetz (*Grosser Otzthaler Gletscher*) sostiene il lago della Val-lunga (*Langthaler See*). La figura 31 mostra, verso il suo termine, un lago (*Pasterzen See*) sostenuto dal ghiacciajo, o piuttosto dalla grande morena laterale destra della Pasterze.

440. Anche questi laghi glaciali possono dar luogo a formidabili irruzioni, levandosi fino al punto, che la pressione idrostatica vinca l'argine glaciale. Nel 1844 il ghiacciajo di Vernagt nella valle dell' Oetz[1] sviluppossi, gonfiandosi quasi repentinamente, e discese, con moto straordinariamente accelerato, finchè incontrossi col ghiacciajo di Rofenthal, e con lui naturalmente si fuse. La velocità, acquistata in seguito a tale congiungimento, fu tale, che il ghiacciajo riunito si avanzò 1123 metri in 566 giorni. Così pervenne a gettarsi attraverso a una valle, percorsa da un torrentello, che traeva origine da altri due ghiacciaî, e formossi per conseguenza un lago. Qui cominciò una lotta fra il lago, costretto a levarsi assai alto e il ghiacciajo: talora il lago, prevalendo coll' incubo suo, sfondava il ghiacciajo; e talora era dall'accrescersi del ghiacciajo tenuto prigione. Avvenne anche che l'acqua vi trovasse un'uscita, scavando una caverna nella massa ghiacciata, ma non vasta abbastanza, perchè il lago non si mantenesse. Tre anni dopo, cioè nel 1847, il lago misurava una lunghezza di 1210 metri. La sua profondità era veramente mavavigliosa, giungendo a 85 metri; e crebbe ancora più tardi. La massa d'acqua, così tenuta sospesa dalla muraglia glaciale, si calcolò ascendesse a 230 milioni di piedi cubici. Rotta finalmente la diga, ne avvenne una spaventevole inondazione: un masso di 4000 piedi cubici fu travolto alla distanza di parecchie centinaja di passi.[2]

441. I fatti citati e analizzati fin qui mostrano quanto ricca sia la serie di quegli effetti, che, tradotti in fatti permanenti, ci possono guidare sicuri alla ricerca di quegli antichi ghiacciaî, che fossero per avventura scomparsi.

Sulla sua via un ghiacciajo imprime orme così profonde, che non valgono i secoli a cancellarle. Quand'anche dal piano ubertoso il ghiacciajo fosse rifuggito nei più inaccessibili recessi delle Alpi, saprò rincorrerlo seguendone le pedate; fosse anche scomparso, potrò dire: qui esi-

[1] La valle dell'Oetz (*Oetz Thal*), appartenente al Tirolo tedesco, confluisce nell'Inn, circa a 30 miglia a ponente di Innsbruck.

[2] Il cataclisma del Vernagt è la ripetizione di quello che fu cagionato dal ghiacciajo di Giétroz nel 1818, quando, attraversatosi alla Dranse, determinò un lago lungo un chilometro, profondo 80 metri, che, rotta la diga, spazzò con una cateratta formidabile detta valle, portando la rovina fin nella valle del Rodano.

steva, si avanzò, rinculò, scomparve. Ormai la tesi più sicura in geologia è quella che sostiene lo sviluppo enorme di antichi ghiacciaî, i quali occupavano vaste regioni d'Europa, anzi del globo, ove or sorgono popolose città, verdeggiano campi, olezzano giardini. Di questo fatto grandioso ci occuperemo a suo luogo. Ma giovi intanto richiamare, a modo di conclusione, i caratteri che ci istraderanno a riconoscere quegli antichi ghiacciaî.

1.° Supposta uguale alla presente orografia quella dei continenti in epoche remote, i ghiacciaî dovevano occupare le valli, quali le vediamo oggigiorno. Le valli adunque ci guidano sulle traccie dei ghiacciaî.

2.° Allo sbocco d'esse valli troverò delle morene frontali, cioè dei mucchi detritici, a semicerchi concentrici, che sembrano sbarrare le valli stesse.

3.° Penetrando la cerchia delle morene frontali, mi vedrò sui due lati altre colline allineate a seconda della direzione della valle. Saranno le morene laterali. Come le frontali sono a semicerchî concentrici, così le laterali, poste sui pendii, saranno a gradini paralleli.

4.° Se sul pendio non potè arrestarsi la morena, la troverò tuttavia insinnata nelle valli e nei seni laterali.

5.° I materiali componenti le morene, o i massi dispersi, saranno provenienti da roccie che trovansi ancora superiormente, entro l'àmbito della valle, e saranno distribuiti per versanti.

6.° Quelle morene avranno, per dir così, una struttura caotica: una massa fangosa che impiglia ciottoli e massi d'ogni forma e d'ogni volume.

7.° Se i ciottoli hanno conveniente natura, si mostreranno striati, spesso fratturati.

8.° Se troveremo, in concorrenza cogli ammassi caotici, altri regolarmente stratificati, i ciottoli striati e i massi imprigionati negli strati non mancheranno di attestarne l'origine glaciale.

9.° Una serie di grossi massi, informi, a spigoli intatti, si troverà associata agli altri striati e arrotondati, specialmente nella parte superficiale.

10.° Fino ad un certo livello troveremo le roccie in posto striate, lisciate, arrotondate.

11.° Se la valle si biforca a valle, troveremo, a monte della eminenza che la divide, una morena d'ostacolo.

12.° Tutto l'apparato glaciale segnerà da valle a monte un regolare pendio.

442. La teorica glaciale incontrò la più fiera opposizione nella teorica alluvionale. La somiglianza degli effetti poteva tornare in appoggio anche di questa seconda teorica, per spiegare gli enormi ammassi detritici,

e i massi erratici giacenti a sì grande distanza dagli attuali ghiacciaî. All'occhio esercitato però non sfuggiranno i caratteri che distinguono le alluvioni dai depositi glaciali. Confrontiamoli sommariamente.

443. Ghiacciaî e correnti erodono, trasportano il detrito, lo depongono, rodono il fondo e le sponde; ma diverso è il loro modo d'agire, diversi gli effetti:

1.° Il liscio del ghiacciajo è lucente; pallido il liscio della corrente.

2.° Il ghiacciajo erodendo, tende ad uguagliare le prominenze; la corrente tende a produrre sinuosità e irregolarità.

3.° Il ghiacciajo stria le roccie e i ciottoli; la corrente, per la mobilità soverchia del detrito, non può produrre striatura. Potrà ammaccare, non striare.

4.° Il ghiacciajo depone massi angolosi o irregolarmente arrotondati; i massi e i ciottoli torrenziali sono conosciuti pel loro regolaro, ellittico arrotondamento.

5.° Il ghiacciajo edifica dei colli; la corrente distendo de' piani a lento pendio.

6.° Il deposito glaciale riveste il fianco dei monti e si arresta su rapidi pendii; le dejezioni dei fiumi si adunano nelle profondità.

7.° Il ghiacciajo sbarra la valle colla morena frontale; la corrento piuttosto ne la libera.

8.° Il ghiacciajo dà origine a cumuli caotici; la corrente, a depositi stratificati.

9.° Il ghiacciajo distribuisce il detrito, non secondo il volume, ma secondo i versanti; la corrente confonde i versanti, e distribuisce il detrito secondo il volume.

Avendo presenti tutte queste caratteristiche, quand'anche vi trovaste nella regione più sconosciuta, potrete a colpo d'occhio decidere se ad un ghiacciajo o ad un fiume si devo l' ordinamento orografico superficiale di quella regione. Ci resta ora a parlare dei *ghiacciaî marini*.

CAPITOLO XIII.

GHIACCI POLARI.

444. Abbiamo veduto (§ 372) come la curva delle nevi eterne discende al livello del mare, tra i poli e l'equatore, isolandone due enormi segmenti. Le nevi e i ghiacci occupano dunque una vasta superficie verso i poli, stendendosi del pari sulla terra e sul mare. I fenomeni devono quindi colà essere di due ordini: quelli del primo ordine non saranno che la riproduzione dei fenomeni alpini: quelli del secondo ordine risponderanno alla diversa indole dell' elemento su cui riposa il ghiaccio. Ma i fenomeni del doppio ordine saranno fra loro in stretto rapporto, nello istesso modo e per la stessa ragione che i ghiacciaî terrestri si confondono colà coi ghiacciaî marini. Certamente però, per renderci ragione di quei complicatissimi fenomeni, non avremo a scorta quella ricchezza di osservazioni, che ci resero così famigliari i ghiacciaî alpini. Le arrischiate spedizioni che onorano il secolo nostro, rivelarono però assai di quelle inospiti regioni, che testè eranci affatto ignote. È sulla scorta degli arditi navigatori che possiamo formarci un concetto abbastanza adequato dei fenomeni glaciali, che devono aver luogo colà a scala veramente enorme in confronto dei fenomeni alpini.

445. La linea, che delimita le zone glaciali, è assai irregolare, assai frastagliata per ragioni facili a indovinarsi. Essa linea nell'Oceano glaciale artico, è soggetta annualmente a grandi oscillazioni. Le coste dello Spitzberg, talora libere interamente, sono talvolta intieramente impigliate nella zona dei ghiacci. Bisogna anche distinguere la zona dei ghiacci galleggianti dalla zona ove il ghiaccio forma una crosta quasi continua. Navigando entro le fessure giunse Scoresby fino all' 81°,30; Parry in slitta fino all' 82°, 43, quindi distante meno di 480 miglia dal polo.

446. Non so se siasi ben calcolata l'ampiezza totale della zona glaciale artica. Si ritiene però non sia che un sesto di quella del glaciale antartico, la quale comincia a misurarsi appena al di là del 55° parallelo, ed è, secondo Maury, di 28°,455,300 chilometri quadrati. Ross al 78°, 4 fu im-

pedito dal proseguire da una barriera di ghiaccio alta 50 metri, che si prolungava ad est per 43 miriametri. Abbiamo già discusso (§ 314) le ragioni di tale differenza.

447. È ben naturale che anche i ghiacciai terrestri antartici siano più sviluppati degli artici. Darwin trovò ghiacciaî ai 40° e 50° di latitudine meridionale, che dal Nevado (Cordigliere del sud) scendevano fino al mare. È a questa latitudine che nell'opposto emisfero trovansi l'Italia, la Spagna, la Francia meridionale, ecc. Siccome i ghiacciai polari sboccano in mare, daranno luogo a fenomeni singolarissimi. I loro depositi avranno naturalmente il quadruplice carattere acquatico e glaciale, terrestre e marino. I massi poi che se ne staccano galleggiano in balia delle onde; ed ecco una nuova macchina, posta in giuoco dalla natura. Giovi a riportare alcuni tratti, tolti dalle descrizioni di quelle inospiti contrade.

448. Rink dimorò tre anni sulle coste di Groenlandia tra il 69° e il 73°. Descrive la Groenlandia come un continente largo da ovest a est 1290 chilometri, e assai più lungo, sepolto sotto una massa continua di ghiaccio, che cola, per così dire, tutto all'ingiro, avanzandosi verso il mare. Nei *fiords* [1] vedesi il ghiaccio a picco levarsi dal mare fino all'altezza di 600 metri: di là ascende continuo fino ad altezza ignota. Tutto è quasi livellato nell'interno; le scarse montagne ignude, che rompono la crosta ghiacciata, alimentano scarse morene superficiali. Le depressioni, ossia le valli, indicate abbastanza dai fiords, determinano però delle linee di maggiore velocità e direbbonsi i veri ghiacciaî alpini. Infatti il ghiaccio si avanza nei fiords, vi forma cioè de' ghiacciaî enormi, larghi parecchi chilometri, dello spessore di 300 a 450 metri, senza contare la parte che si inoltra sott'acqua alla profondità fin di 300 metri, strisciando sul fondo. Più in là galleggiano, o, per meglio dire, non toccano il fondo, ed è allora che se ne staccano enormi frammenti, carichi di detrito, che divengono galleggianti. I massi staccati hanno uno spessore fin di mille piedi; si accumulano nei fiords, dove tutto gela dal novembre al giugno. Nel luglio e nell'agosto invece succede quello che si chiama la sortita dei ghiacci.

449. Nelle regioni più internate verso il polo lo spettacolo del mare glaciale dev' essere ancor più imponente. In quell' intricato labirinto di canali, le terre e il mare si confondono in un solo caos di solido ghiaccio, la cui spaventevole grandiosità vince ogni immaginazione. I ghiacci terrestri, quasi continenti di ghiaccio, si avanzano in mare, con mossa continua irresistibile. « L'oceano, dice Hayes [2] non ne sospende la corsa. Il ghiac-

[1] Si chiamano *fiords* i seni profondi, o bracci di mare, in forma di gora o di chiusa, che s'internano assai entro terra in Groenlandia, e in tutte le regioni più settentrionali.

[2] Vedi la recentissima opera del dottore Hayes (*La mer libre du pôle*, Paris, 1868) ricca di belle illustrazioni, e da cui sono tolte le due figure qui unite.

ciajo respinge le acque... si piega alle ineguaglianze del fondo, come già si piegava a quelle della terra ferma, colmando i fiords e le larghe baje,

Fig. 11. Ghiacciajo di Tyndall sulle coste della Groenlandia.

allargandosi, quando il mare si allarga, restringendosi quando si restringe; coprendo le isole nella sua marcia lenta e continua ». Lo stesso autore delinea buona parte del sistema dei ghiacciai littorali sulle due sponde della

baja di Baffin, e anche dai disegni si rileva come i ghiacciaî polari non siano che i ghiacciaî alpini, colla sola differenza, per vero dire importantissima, che i polari sboccano nel mobile oceano, invece di metter foce nella valle o nel piano. La figura ci mostra uno dei più splendidi saggi di quei ghiacciaî polari. Il ghiacciajo di Tyndall sbocca in un piccolo *fiord* della baja di Baffin, sulle coste della Groenlandia. È un ghiacciajo alpino che termina in mare. Ma perciò appunto, invece di avere una fronte a curva ogivale, limitata da una morena frontale, è tronco, formando colla sua fronte una parete a picco della lunghezza di 4 chilometri, sempre mantenuta aspra e tagliente, dallo staccarsi continuo di enormi masse, o tavole di ghiaccio, che si trasformano in *iceberg* o montagne di ghiaccio galleggianti.

450. Quanto alle regioni antartiche, Ross descrive i ghiacciaî dell' isola Etna che, elevati 1200 piedi, avevano 100 piedi di spessore dove toccavano il mare. Alla Vittoria poi, elevata da 7000 a 10000 piedi, scendevano ghiacciaî, da cui trasparivano rupi ignude: una regolarissima barriera di ghiaccio si fendeva in regolarissime tavole alte da 120 a 180 piedi, stratificate, che si incontravano galleggianti, intatte, fin oltre il 63° di lat. sud. Cook osservò nella Georgia del sud i ghiacciaî, sotto i quali si avanzava il mare in modo, che, alla profondità di 204 piedi, lo scandaglio non toccava fondo. Se ne staccavano dei pezzi con fracasso imitante salve di artiglieria. Lo staccarsi de' massi, dice Hayes, si opera con gran fracasso e sconvolgimento di onde.

I ghiacciaî delle terre polari, e diremo delle coste, operano come i ghiacciaî alpini, facendo astrazione dai fenomeni determinati dalle condizioni speciali del loro tronco inferiore, cioè dal fatto che sboccano in mare.

451. Faremo soltanto osservare che i ghiacciaî terrestri nelle regioni polari costituiscono talvolta essi da soli la superficie di quelle terre, le quali possono dirsi veramente terre di ghiaccio. Nelle regioni temperate, i ghiacciaî occupano, a guisa di fiumano, il fondo delle valli, a cui soltanto è ristretta la loro azione. Un mantello di ghiaccio copre invece, sovra immense estensioni, le terre polari, dalle più elevate cime giù giù fino ai lidi del mare. Benchè anche là, come si rileva dalle osservazioni di Rink (§ 448) il movimento del ghiaccio, e per conseguenza i suoi effetti, si determinino specialmente sulla linea delle valli, che si continuano coi fiords dentro mare; lo stesso movimento, e quindi gli stessi effetti, devono aver luogo, benchè con minore intensità, sopra tutta la superficie della terra ferma. Se la Groenlandia e lo Spitzberg, terre coperte quasi totalmente di ghiaccio, venissero a spogliarsene, il sistema delle striature, degli arrotondamenti, dovrebbe indicare una massa plastica, fluente da un centro, cioè dal punto

culminante della regione. Le strie, p. es., delineerebbero un sistema infinito di raggi, che si dipartono dal punto culminante, come da centro commune. Vedremo a suo tempo di quale importanza sia questa nozione.

Quanto ai fenomeni che diceva riferirsi alle condizioni particolari della fronte dei ghiacciaî polari, sono di due ordini: 1.° modificazioni del fondo marino percorso dal ghiacciajo che vi si inoltra da terra; 2.° massi di ghiaccio che si staccano e divengono galleggianti.

452. Sul fondo marino il ghiacciajo opera come sul fondo di una valle: stria e arrotonda. Ma, prescindendo anche dai massi che si rendono galleggianti, e portano lungi, come vedremo, il detrito delle morene; una buona parte del detrito stesso (quello che formerebbe entro terra la morena frontale) dovrà precipitare dalla fronte del ghiacciajo, e formare un deposito a suo modo sul fondo del mare. Sarà un deposito glaciale-marino, che potrà presentarci i caratteri della sua doppia origine; p. es., ciottoli striati e conchiglie marine. Nel caso che il ghiacciajo si ritirasse, potremo ritrovare un deposito glaciale seminato di spoglie di animali marini, che riposa sopra roccie lisciate, striate, arrotondate. Passiamo di volo su queste induzioni, o meglio su questi fatti, perchè dovremo ritornarci più tardi, quando vi cercheremo la spiegazione di altri fatti grandiosi, che ci pone sott'occhio lo studio delle terre, ora totalmente spoglie di ghiaccio.

Quanto ai massi di ghiaccio che divengono galleggianti, sono essi veri pezzi di ghiacciaî terrestri, che si dipartono, recando seco loro le rispettive morene, e abbandonandosi a quel sistema di correnti, per cui si può dire che i mari polari si scaricano continuamente nei mari equatoriali.

453. Molte cause producono lo staccarsi dei massi galleggianti, detti monti di ghiaccio. Le principali sono gli sbalzi di temperatura, le maree, le tempeste. I monti di ghiaccio presentano le forme più bizzarre; sono veri ghiacciaî galleggianti con massi e morene. Le dimensioni ne sono enormi; e si noti che la parte emergente non rappresenta che circa un ottavo del totale, per cui un cubo alto 30 metri sopra il mare rappresenta una massa cubica di ghiaccio di 13,824,000 metri cubici. Ora Macnah trovò nei mari antartici un masso galleggiante, che emergeva da 76 a 91 metri, carico di una pietra enorme, distante 1400 miglia da qualunque terra.

Scoresby, nello stretto di Davis, incontrò sovente monti di ghiaccio lunghi 4 miglia, larghi mezzo miglio, alti fin 400 piedi: ne vide che formavano una piattaforma di 15 a 18 miglia quadrate, e che, emergendo 90 piedi, si sprofondavano 600 nel mare. Il maggiore di cui si faccia menzione fu incontrato tra il 44° e il 40° di latitudine meridionale, e segnalato dal dicembre 1854 all'aprile 1855. Durò dunque 5 mesi sotto quelle tepide latitudini. Aveva parecchie decine di leghe di dimensioni orizzontali, e v'era

scavata una baja, profonda 20 leghe, che fu costeggiata dal vascello Great-Britain per 30 leghe [1].

Non parliamo del grande fenomeno, che si osserva talora, quando, quasi direi, l'intera massa del mare gelato vedesi venir galleggiando verso sud. Il banco di ghiaccio veduto da Kane sul mare libero del polo, che portava il bastimento Resolute, già abbandonato da Kellet, misurava 300,000 miglia quadrate, e aveva già navigato 1000 miglia verso sud.

454. Non si creda però che lo spessore dei monti di ghiaccio rappresenti quello della ghiaccia, ossia della vera crosta del mar glaciale. Mac Clure la trovò, presso l'isola Bharing, di 84 piedi: si deve però ritenere che non si tratta già della crosta, formata dall'immediato congelamento della superficie del mare. Questa in media fu constatata da Haven, nello stretto di Davis, di 7 piedi soltanto. Hayes la trovò di 8 piedi a Port Foulke (78° lat. nord), e assicura di non aver visto frammento, formato dal congelamento diretto dal mare, che avesse più di 18 piedi di spessore. La ghiaccia è sempre un conglomerato, per dir così, i cui ciottoli (montagne talora) di ghiaccio terrestre, sono legati da un cemento di ghiaccio marino. Tale era certamente la ghiaccia misurata da Mac Clure. Per la confluenza dei ghiacciaî terrestri al mare, vi si accumula ghiaccio sopra ghiaccio. Così nei golfi di Groenlandia si forma una crosta da 1200 a 1500 piedi di spessore, e in certi seni fin di 2400. Gli Esquimesi pescano con fili lunghi 550 metri.

455. Tutto il mare glaciale, salvi gli spazî liberi già accennati, è ingombro allo stesso modo. Sopra tutto dove il mare si restringe, i massi, trascinati dalle correnti, si arrestano, si pigiano, si accumulano, e sorpresi dal gelo si conglutinano, formando una ghiaccia di enorme potenza, che è un vero conglomerato di montagne di ghiaccio. Gli esploratori del polo hanno distinti gli *iceberg*, montagne di ghiaccio libere e galleggianti, dagli *icefield*, campi di ghiaccio, o corpi di montagne di ghiaccio; ma da questi hanno distinti ancora gli *hummock*, non campi di ghiaccio soltanto, ma risultanti dalla agglomerazione di questi. Hayes descrive mirabilmente gli hummock che ingombrano lo stretto di Smith, attraverso il quale si scarica, fluendo verso i mari meridionali, il libero mare del polo artico. La corrente artica, nella stagione del disgelo, trascina i ghiacci galleggianti da nord a sud, pel largo canale di Kennedy. D'un tratto questo si restringe, formando lo stretto. Come avviene quando una corrente, carica di materiali galleggianti, s' ingorga all' apertura di uno stretto canale, le montagne di ghiaccio vi si arrestano, vi si accumulano. Il fenomeno,

[1] Marié Davy, *Météorologie*, pag. 166.

che certo continua da secoli, più che non si veda, si desume da quello sconfinato hummock che ingombra tutto il canale, formante un caos indescrivibile di colli, di rupi, di aguglie, un tale impasto, di cui ci formeremo qualche idea, quando sapremo che uno dei ciottoli componenti quel conglomerato, era un pezzo di icefield di 70 chilometri quadrati, secondo i calcoli di Hayes, che ce lo descrive. La traversata di quel hummock su una linea di 150 chilometri, gli costò un mese di viaggio disastroso, compito come potè meglio in slitta o a piedi.

456. La figura 42 serve a darcene qualche idea. È tolta dal viaggio di

Fig. 42. Il mare glaciale visto dalla terra di Ellesmère.

Hayes, che vi dipinge il mare glaciale, veduto dalla terra di Ellesmère, presso il capo Isabella, nella Baja di Baffin. Dalla terra, seminata di

abitazioni di Esquimesi, somiglianti a piccole torri rotonde, e costrutte d'un muro a secco, rozzo quanto può essere, si vede la ghiaccia aspra e grumosa, da cui si spiccano alcune montagne di ghiaccio, alle quali il disgelo ha dato le forme più fantastiche, e irregolari. Così ci stanno, finchè il disgelo[1] non li rimetta su quella via, ove il gelo li ha arrestati.

457. Immensa è la moltitudine dei massi di ghiaccio galleggianti, che, liberi chi sa dopo quante vicende dalla ghiaccia, e usciti dal labirinto degli artici canali, si lasciano trasportare dalle correnti verso i liberi mari. Scoresby ne contò 500 tra il 60° e il 70° di latitudine settentrionale. Avevano fin da 30 metri a 60 metri di altezza, e 1 miglio di circonferenza.

458. Un masso lungo 1 miglio, largo $^1/_2$, e con 200 piedi d'altezza emergente, può sostenere 140 milioni di tonnellate. Si ricordino i massi e i banchi di 15 e 18 miglia, e si badi che talora sono essi così ricoperti di fango e di detrito, da parere vere isole galleggianti, a cui si approda come a terre. Rupi così fluitate calcolaronsi del peso di 100 tonnellate.

459. Interessa assai nei rapporti geologici il conoscere la via tenuta dai massi galleggianti e la lontananza a cui si possono spingere dalla origine loro. Si richiamino le nozioni circa le correnti artiche ed antartiche. Essendo esse superiori, è naturale che i monti di ghiaccio sieno dai due poli fluitati verso l' equatore. La lunghezza del loro viaggio sarà, in genere, proporzionata alla loro grossezza, che vuol dire al tempo che dovranno impiegare a struggersi. Il limite ordinario per l'emisfero settentrionale è il 67° di latitudine; ma sono ancora frequenti fino al 42°, e Couthong ne trovò uno tutto coperto di detrito fino al 36°. Essendo assai più sviluppata la zona de'ghiacci antartici, è naturale che i massi si trovino relativamente sempre in latitudine più avanzata verso l'equatore nell'emisfero australe. Arrivano, per esempio, sino al Capo di Buona Speranza, e uno ne fu visto che emergeva dal mare fino all'altezza di 46 metri. Quindi non è certo impossibile che un ghiaccio galleggiante si spinga fino all'equatore, cioè che le traccie dei ghiacci polari si incontrino attualmente in tutte le regioni dell'oceano.

460. Passiamo brevemente in rassegna gli effetti speciali che devono prodursi dai massi di ghiaccio galleggianti:

1°. Trasportano il detrito a distanza illimitata dalla sua origine;

---

[1] Il disgelo si fa sentire fino ai limiti estremi delle regioni ghiacciate. La crosta di ghiaccio, tolta d'un pezzo, si rompe, si scompone, tagliata da liberi canali. Hayes, giunto fino ai limiti estremi dell'hommock, o gran crosta di ghiaccio, che d'un sol pezzo occupava il canale di Kennedy, fin dove serviva di sponda al libero mare del polo artico, cioè fin presso all'82° di latitudine nord, si trovò molto imbarazzato a riguadagnare il bastimento, perchè la ghiaccia si andava già rompendo per ogni parte. Pare molto probabile per ciò che si possa, in stagione opportuna, arrivare una volta al mare libero, per acqua.

2.° Ruzzolati sul fondo, e urtati contro gli scogli, spesso con incredibile violenza, devono scavare dei solchi, staccare frammenti, produrre ammaccature, smuovere il fondo, contorcere strati, ecc. Io non credo però che, come lo vogliono alcuni, i ghiacci galleggianti, essendo un sistema affatto mobile, possano produrre striature e scanalature regolari, come i ghiacciai terrestri. Ad ogni urto saranno costretti a rotare sopra sè stessi, a mutar direzione; nè so immaginare come possano condurre una stria regolare, quale può essere incisa da un ciottolo incastonato in un sistema rigido, qual' è il ghiacciaio alpino;

3.° Distribuiscono, sciogliendosi, il detrito.

461. Arrestiamoci a quest'ultimo effetto, come il più importante per la geologia. Dall'indole del fenomeno dei massi galleggianti non sembrerebbe che ci dovessimo attendere, non dirò dei regolari depositi, ma nemmeno delle accumulazioni alquanto caratteristiche. Eppure ciò avviene. Possiamo segnalare tre modi abbastanza distinti di distribuzione del detrito glaciale.

1.° *Per semplice dispersione*. Il masso sciogliendosi semina di detrito il suo passaggio.

2.° *Per distribuzione regolare*. I ghiacci, come tutti i galleggianti, sono gettati, e distribuiti lungo il lido, dalla tempesta, specialmente nei seni. Sciogliendosi i ghiacci, rimarranno dei cumuli detritici, i quali, per la loro forma allungata, simuleranno abbastanza bene una morena. Un bellissimo esempio se ne indica in una zona littorale di massi, allineati entro i limiti della bassa e dell' alta marea [1], per la lunghezza di 700 miglia, nel golfo di San Lorenzo (America settentrionale).

3.° *Per cumuli accidentali*. Quante cause non possono determinare l'accumulazione dei ghiacci e quindi del detrito in un luogo speciale?

Un grandioso fatto di questo genere è il banco di Terra Nuova, tutto composto di detrito, che forma un cumulo della lunghezza circa di 8 gradi geografici e della larghezza di 5. Secondo Maury, esso è intieramente

---

[1] Lo schizzo della fig. 43 è preso dal 2.° vol. dei *Principi* di Lyell, cercando tuttavia di renderlo un po' più intelligibile. Il fenomeno principale vi appare evidentissimo; si vede cioè come l'onda del mare, spingendo, come fa sempre, i galleggianti verso il lido, accumula i ghiacci sulle coste del Labrador, di cui una porzione è qui figurata. Nell' epoca dei ghiacci quei lidi devono figurare come un banco continuo di frammenti di ghiaccio; sciogliendosi questo, rimarranno i massi da esso fluitati, disegnando, come mostra la figura, un cordone littorale continuo, assai prossimo, per la sua forma, e per quella degli elementi che lo costituiscono, a una morena. Il disegno, per quanto rozzo, offertoci da Lyell, mette in luce un altro fatto, e sarebbe il perfetto arrotondamento dei colli in quelle nordiche regioni, splendido indizio di quell'avanzamento e di quell'enorme sviluppo de'ghiacciai terrestri, di cui dovremo intrattenerci a lungo più tardi.

formato dal detrito glaciale, proveniente dai ghiacci galleggianti, che rapidamente si sciolgono al contatto della corrente del golfo. È un immenso deposito di formazione attuale, la più grande creazione glaciale dell'epoca, quasi un continente a fior d'acqua di 14400 miglia quadrate, un vasto os-

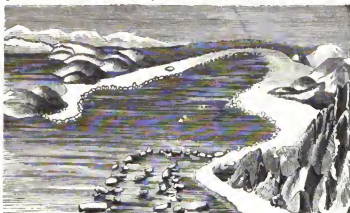



Fig. 43. Massi abbandonati dai ghiacci galleggianti sulle coste del Labrador.

sario, come lo chiama Maury, venendovi a perire una sterminata copia di animali, vittime del rapido passaggio da una temperatura glaciale ad una temperatura tropicale, e viceversa.

462. I depositi glaciali marini, provenienti direttamente da ghiacciai terrestri, o indirettamente dai ghiacci galleggianti che se ne staccano, presenteranno il carattere presso a poco delle morene rimestate. Presenteranno cioè massi angolosi o ciottoli striati in strati di più fino detrito. Il carattere specialissimo poi consisterà nella presenza di spoglie d'animali marini. Le reliquie organiche, stante la potenza erosiva, devono essere quasi necessariamente escluse dalle formazioni glaciali terrestri. Pei marini la cosa è ben diversa. La temperatura delle acque è anche nelle regioni polari abbastanza elevata pel mantenimento della vita animale. Hooker trovò ben popolato il mare antartico sulle coste della Vittoria fino al 78° di latitudine, e Torell trovò 150 specie d'animali sulle coste dello Spitzberg, fino alla profondità di 2700 metri, e altre ne trovò sulle coste della Groenlandia più infestate dai ghiacci galleggianti. Pare anzi che quegli animali prediligano il fango prodotto dall'erosione glaciale.[1] Il

[1] I particolari che qui si accennano sono consegnati ad una lunga nota a pag. 280 dell'opera di Lyell: *L'ancienneté de l'homme*. Il signor Torell osservò, sulle coste nord e ovest

banco poi di Terra Nuova è uno splendido esempio di deposito glaciale marino ricchissimo di fossili attuali.

463. Nell'America settentrionale, dove lo scioglimento delle nevi nei tronchi superiori dei fiumi è così precoce in confronto di quello che ha luogo nei tronchi inferiori che terminano al mare glacialo, hanno luogo rigurgiti violenti e vaste innondazioni. La corrente rigonfia, investe la superficie ghiacciata dei tronchi inferiori: le tavole di ghiaccio si rovesciano l'una sull'altra, ed enormi pile di ghiaccio, con massi sradicati, sono travolte dal fiume in mare. Questo fenomeno è offerto su vasta scala dal San Lorenzo, che corre così direttamente da sud a nord. Alla sua foce si osservano sparsi ovunque massi e isolette detritiche della indicata origine. Larivière osservò allo sbocco del Niemen nel Baltico un pezzo di ghiaccio, lungo 9 metri, che impigliava un masso di un metro di granito di Finlandia. L'ammucchiamento dei ghiacci si osserva anche alla foce della Vistola, e fu esso la causa che, nel 1840, il fiume rompesse sulla destra, scavandosi un canale di più leghe, attraverso colline detritiche, alte da 12 a 18 metri. Sono tutti fenomeni che, per quanto isolati, vogliensi avere di mira, quando si abbiano a studiare singolarmente i terreni mobili superficiali.

---

dollo Spitzberg, che le conchiglie erano più nuoierose e più vario sopratutto sui foodi composti di fango fino, derivato dallo moreno, o prodotto dall'aziono erosiva del ghiaccio sulle zooe sottoposte. Il fondo dol mare, nel canale di Omenah (Groenlandia) è composto di fango impalpabile; di uo fango simile a quello, onde erano coperte alcuoo montagne di ghiaccio galleggiante in tal guisa, che vi si affondava fino a' ginocchi. Si trovavano inoltre, impigliati in quel fango marioo, immensi massi di rocce granitiche, o d'altre, di tutte le dimensioni, molti striati sopra una o più facce. Ecco un deposito glaciale marino, como noi lo intendiamo, cioè un fango che contieno conchiglio marino o ciottoli glaciali.

PARTE SECONDA.

DINAMICA TERRESTRE INTERNA.

CAPITOLO I.

DELLA CIRCOLAZIONE SOTTERRANEA DELLE ACQUE SECONDO I DATI DELL'OSSERVAZIONE.

464. La *dinamica terrestre esterna*, ossia lo studio delle forze esogene, ci ha rivelato il complicato meccanismo, per cui si rimuta continuamente la superficie del globo. L'effetto ultimo, il fatto grandioso, in cui gli altri si sintetizzano, si esprime colle parole *degradazione dei continenti*. L'atmosfera, le pioggie, le correnti, il mare, i ghiacci, sono altrettanti agenti degradatori. La degradazione, che è la distruzione degli attuali continenti, trova dei compensi negli stessi agenti degradatori, o in altri che lavorano a mantenere l'equilibrio del globo. Il prodotto della degradazione meteorica, e i detriti strappati, trasportati, elaborati dalle correnti e dal mare, sono convertiti dalle correnti e dal mare stesso in alluvioni o in istrati sottomarini. I coralli, e tutto il mondo marino, lavorano a fissare le sostanze disciolte dalle acque, rigenerando, in seno al mare, le terre distrutte. I ghiacciai stessi, collo sfasciume dello montagne, edificano dei colli che noi chiamiamo *morene*. Nulla tuttavia potrebbe impedire la completa degradazione, la finale scomparsa delle terre. La terra tornerebbe al mare, d'onde è uscita, secondo la rivelazione e la scienza.

465. Ma il globo non è punto una massa inerte che si abbandoni in balía degli esterni elementi, senza reagire. Direbbesi invece, ch'egli sia pieno di una vita propria, attivissima, e reagisca energicamente contro la tirannia degli agenti esterni, e la reazione manifesti talora colle più terribili convulsioni. Eccoci in un campo affatto nuovo, in un mondo misterioso, dove, venendoci meno la scorta de' sensi, dovremo penetrare seguendo le vie della induzione.

466. Minima infatti è la porzione dell'interno del globo dischiusa alla esperienza ed alla osservazione diretta. Le massime profondità sinora

raggiunte sono un nonnulla in confronto del raggio terrestre. Eccone alcune:

Miniere di Guanaxato nel Messico, 514 m.

Pozzo artesiano di Grenelle a Parigi, 547 m.

Massima delle miniere di Freyberg in Sassonia, 592 m.

Miniera di Joachimsthal in Boemia, 649 m.

Pozzo artesiano di New Salzwerke presso Mindel in Prussia, m. 607,04.

Pozzo a gaz idrogeno in China, 975 m.

Pozzo di miniera abbandonato a Huttemberg in Boemia, 1151 m.

467. Anche tali profondità non valgono a darci quasi nessuna cognizione delle forze endogene, le quali non si manifestano che mediante fenomeni esterni. Essi fenomeni si presentano però sovente fra loro in così stretti rapporti, che si direbbero, piuttosto che manifestazioni di diverse cause, diversi modi di manifestazione della causa stessa. Qual'è questa? Humboldt[1] classifica quei diversi fenomeni in una sola categoria, esprimente una sola causa complessa, che definisce « reazione dell'interno di un pianeta contro gli strati esterni. » Nulla di più indeterminato di questo concetto, e nulla che meglio metta a nudo la povertà della scienza.

Tuttavia, analizzando parte a parte tali manifestazioni, possiamo sperare di formarci un concetto meglio determinato di questa attività, e risolverla nelle sue leggi grandiose, che legano le forze endogene in un solo sistema: in un sistema, il quale, essendo affatto opposto a quello delle forze esogene, le compensa in guisa, che su questa terra, mentre tutto si rimuta, tutto si conserva.

468. Facendoci a osservare le diverse manifestazioni della vita interna del globo, ci si presenta anzi tutto un fenomeno, che stabilisce un visibile legame tra l'esterno e l'interno. Consiste esso nel giro continuo d'un elemento a noi ben noto, che si vede qui abbandonare la superficie della terra per penetrarne le viscere, là uscirne per effondersi sulla superficie. Questo elemento è l'acqua.

Lo scambio continuo fra l'esterno e l'interno dello stesso elemento è fenomeno universale, operandosi, si può dire letteralmente, sulla intera superficie del globo. Se questo fenomeno è meritevole, per la sua stessa universalità, di stabilire una categoria a sè; tanto più lo diviene, quando si consideri (e lo dimostreremo nel progresso dell'opera) che tutte le altre manifestazioni endogene gli si legano; anzi ne dipendono.

Considereremo dunque anzitutto il fenomeno della circolazione acquea dall'esterno all'interno e viceversa.

---

[1] *Cosmos*, I.°, pag. 162.

469. Le altre manifestazioni sono di più specie; ma tutte si raggruppano intorno ad una, da cui tutto dipendono. *Essa è costituita dai vulcani*, e le manifestazioni che ne dipendono sono le *emanazioni gazose*, le *salse* e i *vulcani di fango*, i *geyser*, le *sorgenti di petrolio*, i *terremoti*, fenomeni il cui complesso si esprime col nome, ormai consentito da tutti i geologi, di *vulcanismo*. Ci rimane ancora da studiare la più grandiosa, benchè la meno apparente, di tutte le manifestazioni, la quale è come l'effetto a cui riesce, in ultima analisi, quel sistema di forze, di cui gli altri fenomeni non sono che parziali manifestazioni. Parlo delle *oscillazioni della crosta terrestre*. Questa *Parte II* della dinamica terrestre tratterà dunque successivamente dei seguenti fenomeni.

I. Circolazione sotterranea delle acque:

II. Vulcanismo:

1.° Vulcani;

2.° Salse e vulcani di fango;

3.° Stufe, geyser, sorgenti geyseriane, soffioni;

4.° Emanazioni gazose;

5.° Petroli;

6.° Terremoti.

III. Oscillazioni della crosta terrestre.

470. Le sorgenti sono una rivelazione grandiosa della circolazione sotterranea. Là dove esce dell'acqua deve esservi entrata dal di fuori, e ha dovuto circolare per escire. Chi ne dubitasse, dovrebbe supporre che le acque sorgenti traggono la loro origine immediatamente dalle viscere della terra. Ma con tanto numero di sorgenti perenni, i magazzini interni dovrebbero vuotarsi, e il mare elevarsi. L'esperienza dei secoli ci insegna che le sorgenti, prese nel loro complesso, non si esauriscono, e il livello del mare non si altera. Dunque è l'acqua esterna che entra ed esce, va e ritorna. Il fatto è del resto dimostrato dai fenomeni più volgari. Le sorgenti si gonfiano colle pioggie; si dimagrano e si esauriscono colla siccità. La piena delle sorgenti coincide colle stagioni piovose; le regioni più irrigate dalle pioggie sono in genere anche le più ricche di sorgenti.

471. Il sistema della circolazione sotterranea è un qualche cosa di ben grandioso, proporzionato al sistema delle sorgenti che mantengono il globo continuamente irrigato. Benchè si svolga entro il bujo delle interne regioni, la dinamica terrestre può studiarlo, sui dati abbastanza copiosi offerti tanto dalla osservazione quanto dalla esperienza. Cominciamo da ciò che ci rivela l'osservazione.

472. Tutte le roccie sono permeabili all'acqua; ma alcune in grado minimo, e sono dette *impermeabili* in confronto di altre dette *permeabili*, appunto perchè lo sono in massimo grado.

Le roccie più permeabili sono quelle a struttura granulosa, compatte o incoerenti; per esempio, i grès, la sabbia, il suolo vegetale, ecc. Roccie impermeabili invece sono quelle a struttura laminare, e in modo segnalatissimo le roccie argillose, siano compatte, siano incoerenti. Le permeabili e le impermeabili alternano continuamente fra loro nella serie stratigrafica, seguendo i mille accidenti che possono presentarsi nei rapporti delle une colle altre, di cui ci formeremo un più nitido concetto ragionando di stratigrafia. Intanto è chiaro, che l'acqua dall'esterno potrà filtrare nell'interno, seguendo a preferenza, come medî conducenti, le roccie permeabili. Gli strati terrestri si potrebbero, sotto questo rapporto, paragonare ad una serie di panni o di spugne, imbibiti e goccianti, che alternano con una serie di tavole asciutte, metalliche.

473. In primo luogo adunque le acque circolano per *infiltrazione*. Le leggi della *capillarità* e dell'*endosmosi*, studiate dai fisici, sono applicabili alle acque filtranti, le quali, mineralizzate, come vedremo in seguito, possono presentare quelle differenze di natura e di densità, per cui siano provocati, su vasta scala, i fenomeni dell'*endosmosi* e dell'*esosmosi*. Questo sistema di circolazione per infiltrazione non riconosce *a priori* limiti di estensione o di profondità, poichè tutte le roccie sono permeabili. Vedremo poi come la cosa risulti provata *a posteriori*, dai fatti cioè, che mostrano l'acqua penetrare veramente nelle maggiori profondità del globo, insinuandosi fin entro il focolare del fuoco centrale.

474. Ma vi ha un altro modo di circolazione, più somigliante al sistema della idrografia esterna, che si opera cioè per liberi canali, somiglianti alle valli e ai letti dei fiumi.

Se la permeabilità delle roccie è forse la causa primaria della circolazione sotterranea, non ne è causa meno importante lo stato di incoerenza che presenta la crosta solida del globo. Essa, piuttosto che un solido continuo, è un aggregato di solidi disgiunti da mille meati, ove le acque, o derivate direttamente dalla superficie, o infiltrate attraverso gli strati permeabili, possono radunarsi in corpi vastissimi e circolare liberamente. Gran numero di fatti ci mostrano evidentemente come la circolazione stabilisca dei sistemi idrografici interni, paragonabili in tutto agli esterni.

475. Cominciamo a dire che la grandiosità dolla circolazione sotterranea è già segnalata dall'immenso numero delle sorgenti, e dalla gran copia di acque riversate da molte di esse. Infatti non può immaginarsi che un grosso corpo d'acqua sgorghi dalle viscere della terra, senza supporre per esso un sistema di vasta circolazione, che raccolga le acque da varie direzioni in un bacino idrografico sotterraneo, che metterebbe capo ad una sola foce.

Celebre è la fontana di Vaucluse (Valchiusa), cantata dal Petrarca, da cui esce la Sorgue allo stato di vero fiume, versando da 444 a 1330 metri cubici di acqua al minuto, secondo le stagioni; in media 468 milioni di metri cubici in un anno. La fontana di Nîmes dà talora, secondo Degousée e Laurent [1], fino a 10,000 litri al minuto. Noi potremmo citare le sorgenti dell' Adda, e più ancora il Fiume-Latte, presso Varenna che, secco o assai magro per lunga stagione dell' anno, riversa talora un torrente copioso dalla bocca di una caverna, situata a non più che un centinajo di metri sopra il pelo del lago di Como.

476. Se le acque, che escono, sono un testimonio della circolazione sotterranea, più immediatamente la dimostrano quelle che entrano. Vaste regioni sono sottomesse ad un regime idrografico misto, cioè in parte esterno ed in parte interno, per cui la circolazione esterna e la circolazione interna, sempre in istretta dipendenza tra loro, a vicenda si sostituiscono nelle diverse funzioni. Così, mentre le sorgenti non rappresentano che la circolazione interna, che dà origine ai fiumi superficiali, i gorghi rappresentano la circolazione esterna, nell' atto di dare origine ai fiumi sotterranci. Anzi, bacini chiusi all' ingiro, si convertirebbero in laghi, se le acque non trovassero uscite, circolando entro le fessure della terra. Frequentemente si osservano negli altipiani delle depressioni imbutiformi, ove si raccolgono le acque scorrenti sul piano, e vi scompajono per sotterraneo cammino. Un bellissimo esempio di tale sistema idrografico può osservarsi, fra noi, nell' altipiano di Selvino, sulla destra della Val-Seriana. Vasti imbuti, del diametro talora di circa 50 metri, veggonsi, quasi vulcanici crateri, scavati nella dolomia; ed un imbuto modello, veramente grandioso, osservasi a sud della Rocca di Monate, sul lago di Garda, ove si raccolgono le acque in una specie di vasto anfiteatro. Ma la regione classica per tali fenomeni è il Giura. Un recente scritto del signor Desor descrive appunto queste specie di scaricatori ad imbuto, che, nel linguaggio del paese, si chiamano *emposieux*. Io ve lo traduco letteralmente, perchè per mio avviso vi è esposta assai chiaramente la teorica delle sorgenti, in quanto dipendono dalla libera circolazione delle acque nelle fessure terrestri. Chiamo sopratutto la vostra attenzione sull' azione che i laghi o i bacini sotterranei esercitano come regolatori, rimanendo così spiegate le sorgenti perenni.

477. « La valle Des Ponts, a 995 m. di elevazione, è un vero tipo delle alte vallate del Giura. Ha fondo torboso, chiuso all' ingiro da un rilievo boscoso, senza fiume che serva di emissario. I cólti e l' abitato si limi-

[1] *Guide du sondeur*, Vol. I, pag. 30 a 39.

tano, in genere, ad una zona abbastanza angusta, che si avolge tra la torbiera e la foresta. È là che giace la casa di Combe-Varin, circondata da' suoi campi e da' suoi prati, addossata dalla parte di mezzodì alla foresta, uno degli ultimi asili ai superstiti grandiosi abeti. Alle falde del pendio, che s' inclina davanti a quell'alpestre dimora, scopresi un grande imbuto, una specie di cisterna naturale, come ve ne han molti in giro al vallone. Eccovi un *emposieu*. La valle Des Ponts non è la sola che conti di tali imbuti. Ne esistono nella valle della Brevine, in quella della Chaux-de-Fonds, e in buon numero d'altre valli chiuse. Non ne esistono invece nella valle di Travers, in quella di Rug, nè, in generale, nelle valli che hanno per emissario un fiume. Vi ha dunque un rapporto tra gli imbuti e la configurazione delle valli.

Fig. 44. Spaccato della valle *Des Ponts* nel Giura di Neuchâtel.

478. » La valle Des Ponts non è intaccata da nessuna gora, che possa dar scolo alle acque; eppur fa d'uopo che essa trovi un'uscita da qualche parte, altrimenti la valle si trasformerebbe ben presto in un lago; tale uscita è offerta dagli *emposieux*. Così vediamo noi dei ruscelli metter foce a ciascun *emposieu*, e versarvi il soverchio della palude. Alcuni, come l'*emposieu* della valle Des Ponts, ricevono ruscelli permanenti, che possono all'uopo alimentare delle officine; altri invece, come quelli di Combe-Varin, servono soltanto di cisterna, in occasione delle grandi pioggie, al modo dei *catabottra* di Grecia.

479. » L'acqua, così bevuta dagli *emposieux*, dev'andarsene per qualche parte. È noto al presente, che l'acqua, la quale s'ingolfa negli *emposieux* della valle Des Ponts, riappare a 274 m. più basso, nella valle della Reuse, per dar vita alla sorgente della Noire-Aigue, presso il villaggio di questo nome. Essendo abbastanza limitato il suo tragitto, non ha tempo di depurarsi completamente per via, e siccome l'acqua delle torbiere è nerastra, conserva ancora alcun che del primitivo colore, quando riappare al piede delle rupi della Clusette; perciò appunto chiamossi, col linguaggio

del paese Noire-Aigue, ossia acqua nera. Se la Reuse e l'Orbe, henchè egnalmente prodotte dallo scolo, l'una della valle della Brevine, l'altra della valle di Joux, son più limpide, il motivo si è che le loro acque, prima di infiltrarsi, soggiornano nei laghi (lago di Etaillereus e lago di Joux), dove hanno tempo di rischiararsi, riposando.

480. » Ora come formaronsi gli *emposieux?* I dintorni di Combe-Varin sono tali da rispondere al qnesito. Eccone tre, che si distinguono perfettamente dalla galleria della casa. Tutti e tre stanno sulla stessa linea. Questo non può attribuirsi al caso, poichè non vi ha nulla di accidentale nell'architettura delle nostre montagne. Sono inoltre situati sul lembo della torbiera, sulla linea, ove il pendio della costa coincide coi limiti del piano. Noi sappiamo che il fondo della valle è piatto: Gli *emposieux* corrispondono dunque precisamente a quel punto, ove la forma orizzontale passa alla forma inclinata; in altri termini, dove gli strati formano un gomito[1] dove, per conseguenza, i letti calcarei, formanti il sotto-suolo, dovettero spezzarsi. Non vi ha dunque nulla di meraviglioso in ciò, che le acque abbianvi trovata più facilmente la via di sfuggirsene, e che abbiano così, col tempo, scavati gli imbuti, che occupano invariabilmente la stessa posizione, o, sbarazzatasi la via attraverso il calcare giallo del neocomiano, quindi attraverso le marne bleu o di Hauterive, la limonite, il marmo bastardo o calcare *valangiano*, le marne nere di Purbeck. Una volta arrivate sul *roc*, calcare rigido e sempre fessurato, le acque hanno facilmente attraversato il *virguliano*, il *pleroceriano*, l'*astartiano*, e son giunte così sopra il primo grande strato impermeabile, che affiora nella valle (Combe) di Noire-Aigue. È là diffatti, sopra letti di marna astartiana, che scaturisce la Noire-Aigne, al piede delle Blanches-Roches, sulle quali si projetta il profilo degli strati, cho le acque sono costrette a traversare e che presentano un dirupo di 300 m.

481. » Ma que' banchi rocciosi non sono orizzontali. Invece inclinano a nord verso la valle Des Ponts; e siccome ricompariscono dall'altra parte della valle, tra il villaggio Des Ponts e la Jous, bisogna ammettere che si sprofondino sotto il vallone, formandovi un bacino, una vasca, di cui le rupi della Clusette e le Blanches-Roches rappresentano una parte del labbro. Lo strato di marna astartiana, che si trova al fondo del bacino, partecipa a questi movimenti, e l'acqua, tendente a guadagnare la parte più bassa, si accumulerà nella parte del bacino al di sotto della sorgente, stabilendovi un magazzeno d'acqua, il quale agirà come regolatore. Si deve a

[1] Qui si preoccupa alquanto il campo della *stratigrafia*. Ma i fatti esposti sono chiari, e la figura gioverà a farli comprendere.

questo regolatore, se la Noire-Aigue, come le altre sorgenti del Giura nelle stesse condizioni, continuano a fornire acqua nelle più grandi siccità, quando sono quasi esaurite le sorgenti ordinarie. Ciò non avverrebbe se le roccie della Clusette fossero orizzontali: le acque scolerebbero direttamente, e la Noire-Aigue, priva del suo bacino o magazzeno d'acqua interiore, subirebbe la sorte delle altre sorgenti. Nè è necessario che tale bacino o magazzeno sia un lago sotterraneo. Basta immaginare semplicemente le fessure delle roccie e gli interstizî degli strati pregni d'acqua fino al livello della sorgente, e quelle masse così imbibite che sgocciolino, a guisa d'immensa spugna, che gemo il soverchio in modo regolare ed uniforme. Esiste dunque un legame intimo tra le nostre torbiere e le ricche o belle sorgenti del nostro Giura. Toglicte le torbiere, e le nostre alte vallate, i nostri fiumi sarebbero in secco la state, per diveniro torrenti devastatori nella stagione dollo pioggie. »

482. Talora non trattasi più di semplici smaltitoi delle acque fluviali, ma veggonsi corsi d'acqua considerevoli, e fiumi, riversarsi entro le viscere della terra. L'Alfeo, il Tigri, il Nilo, il Timavo, sono fiumi citati da Plinio fra quelli che spariscono sottorra. Si intende, naturalmente, per un tratto più o men lungo del loro corso. La Guadiana, in Ispagna, si perde in seno a immensa prateria. Il Rodano sparisce, per un certo tratto, entro le caverne del Giura. Così la Mosa, a Bazoilles, per un corso di quasi un miriametro. La Drôme (affievolendosi mano mano che scorre sovra certi gorghi che ne bevono l'acqua, secondo l'espressione del paese) finisce a perdersi intieramente entro la fossa di Soucy, caverna di 10 a 12 metri di diametro, in mezzo ad una prateria. Lo stesso presso a poco avviene della Rille, dell'Iton e dell'Aure in Normandia.

L'Aros passa sotto una montagna de' Pirenei, e ricompare dall'altra parte. Lo stesso fenomeno, a scala assai minore, ma in modo, oso dire, evidente, è presentato dal torrente che esce dalla Valgana. Sotto Ghirla, al luogo detto Ponte Nîvo (che altri interpreta *ponte nativo* o naturale) si apre una vasta caverna, ove si getta fragoroso il torrente. Deviando a destra della via principale, e discendendo nella valle per circa un quarto d'ora, si scopre un'altra caverna assai spaziosa, ove riappare, sbucando da una galleria regolarissima, il torrente. Ma esso di nuovo si inabissa sotterra, senza uscire dalla caverna, e si rivede una terza volta assai più basso, ove continua all'aperto la sua via, finchè si getta nel lago Maggiore. Il celebre Buco della Nicolina sopra Nesso non è altro che una caverna, la quale si sprofonda verticalmente, e serve di emissario all'ampio bacino detto Pian del Tivano. Famoso è poi il Rock-Brodge, nella Virginia, volta naturale gettata sopra una voragine profonda 90 metri, ove si precipita il Ceder-Creek.

483. Se questi e mille altri esempî ci assicurano della esistenza di corsi d'acqua sotterranei, altri splendidissimi ci rivelano quella di vasti serbatoî, di veri laghi nelle viscere della terra.

A Livière, presso Narbone, esistono cinque voragini di immensa profondità. Sono altrettanti pozzi, che comunicano con un gran corpo d'acqua ricchissima di pescagione. — Buffon parla di una montagna calcarea de' Pirenei, che, sprofondandosi nel 1678, rivelò l' esistenza di un lago interno, il quale, debordando, invase violentemente una parte della Guascogna.

Nel dipartimento delle Deux-Sèvres, presso l'abbazia di Beuneville, esiste uno stagno di 50 are. Esso non sarebbe che porzione visibile d'un vasto lago sotterraneo. Difatti ogni anno rigurgita, e copre tutta la valle fino a Couché, per la larghezza d'un chilometro. Ma dopo qualche giorno quell'eccesso di acqua è assorbito da fori di uno a due decimetri di luce, esistenti nel suolo, e raccogliesi dal terreno una quantità grande di anguille e una maggiore di lucci, vittime della ritirata delle acque. Ancor più singolare è ciò che si narra del lago Zirknitz nella Carniola. Il lago ha circa otto chilometri di lunghezza su quattro di larghezza. Verso il mezzo dell'estate, se domina la siccità, si abbassa rapidamente, e in poche settimane rimane il fondo asciutto. Allora osservansi le fessure o verticali od oblique, per le quali l'acqua si è ritirata. Le montagne dattorno son tutte crivellate da caverne. I paesani seminano la segale deve prima pescavan le tinche, e in capo a due mesi mietono il fieno ed il grano. L'autunno eccoti le acque di ritorno dalle fessure, per cui se n'erano ite, e colle acque torme di pesci e, ciò che è più strano, stormi di anitre, quasi sorgessero dal suolo. Esse nuotano benissimo, ma sono perfettamente cieche e quasi affatto nude. In poco tempo però acquistano la vista e dopo due o tre settimane seno atte al volo. La cosa sarebbe incredibile, se Valvassor non avesse visitato il lago nel 1687, e preso un gran numeno di quelle anitre e visto pescarsi anguille di 3 libbre, tinche di 7 e lucci fin di 40 libbre, e questi fatti non fossero riferiti in una *notizia* di Arago, pubblicata nell'*Annuaire du bureau des longitudes*, 1835.

Una voragine e un pozzo naturale, che inondano la campagna, e lasciano dei pesci nel loro ritirarsi, citansi pure l'una presso Sablé (Sarthe), l'altro a Frotté presso Vésoul.

484. Le caverne, che ci permettono di penetrare alquanto nei regni bui, non mancano di rivelarcene in parte le meraviglie idrografiche. Un piccolo, ma bellissimo esemplare, ci è offerto dalla caverna detta il Buco dell' Orso sopra Laglio (lago di Como), ove un torrentello nasce e sparisce in quelle latebre. Assai più grandioso spettacolo offrono le caverne di Adels-

berg, di cui diremo or ora; ma tutto è vinto dalla Grotta del Mamouth nel Kentucky[1]. Là dentro stendesi un lago, di sconosciuta profondità, detto *Mar Morto*, e più lungi scorrono tre fiumi, *Stige*, *Lete* ed *Eco*, uno dei quali ha 40 piedi di larghezza e 30 di profondità. Quei fiumi sono soggetti a crescite fin di 24 piedi in due ore, e si alzano fino a 50 piedi.

485. L'Istria e la Carniola costituiscono una delle regioni più classiche per l'idrografia sotterranea. Formate di una serie di eminenze, o piuttosto di altipiani, esse sono povere di valli e di acque scorrenti alla superficie. I mille crepacci, gli imbuti crateriformi, le caverne, sono altrettante gole, per cui le acque pluviali discendono nelle viscere della terra. La celebre grotta di Adelsberg, che riproduce su piccola scala in Europa le meraviglie della *caverna del Mamouth*, è anch'essa, come accennammo, un grande condotto di acque sotterranee.

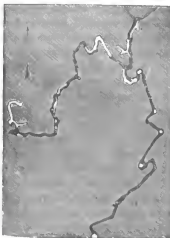



Fig. 45. Grotta di Planina nella Carniola[2].

486. A nord di Adelsberg il torrente Poik, dopo aver serpeggiato lungamente a cielo aperto, si butta d'un tratto nelle viscere della montagna, misurando talora fin 10 metri di profondità. Il suo corso sotterraneo verso nord può navigarsi in battello fino alla distanza di 940 metri, ove si perde nelle tenebre. Lo si rivede, a circa un chilometro e mezzo più in là, ove attraversa il fondo di un abisso, per nascondersi di nuovo in seno alla montagna. Riesce finalmente nella grotta di Planina (fig. 45) evidente prolungamento della caverna di Adelsberg, dove si può rimontare per 3200 metri, e d'onde sbuca finalmente, dopo un corso sotterraneo di 9 a 10 chilometri, mutato il nome di Poik in quello di Unz, che, formato il lago di Planina, corre a gettarsi nella Sava danubiana.

[1] Questa celebre caverna offre il saggio più meraviglioso di idrografia sotterranea, che siasi finora ottenuto dalla osservazione diretta. A nessuno sono noti i confini di quel mondo sotterraneo. Basti il dire che si registrano già 226 viali o gallerie, che misurano in complesso una fuga di 350 chilometri, e conducono a diverse mete. La più lontana, che si tocca dai curiosi, nel loro giro di più giorni, è una sala, della Roghans-Hall, a 9 miglia dall'entrata, ove si pranza al fragore di una cascata.

[2] Reclus, *La Terre*, I.° pag. 312.

Nella caverna di Planina, qui figurata, noi assistiamo alla riunione del Kalteuferder, uno dei confluenti, di cui s'è ingrossata la Poik nel suo pellegrinaggio sotterraneo.

487. Un crepaccio, ossia una caverna verticale, discende presso Opschina fino alla profondità di circa 180 metri. Un altro a Bassovvitza, il quale non ha che circa 2 metri di luce, discende fin verso i 22 metri: qui si apre in una piccola caverna, da cui si inabissa un baratro di oltre 150 metri. Questo crepaccio si beve tutta l'acqua dei dintorni.

488. Celeberrima sopra tutte le caverne verticali di quei luoghi è la caverna di Trebich. Il disegno che ne presentiamo (fig. 46) è copiato in piccola scala da quello che il signor Sforzi, ingegnere di Trieste, communicò al signor Morlot di Losanna, il quale lo pubblicò in una Memoria sulla geologia dell'Istria, che si trova nelle *Abhandlungen* dell' I. R. Istituto geologico di Vienna. Le misure si esprimono in metri, ragguagliati al piede di Vienna, che si ritiene usato da Morlot.

Fig 46. Grotta di Trebich presso Trieste.

489. Per le circostanze del suolo già accennate, la città di Trieste pativa difetto di acque potabili. Il signor Lindner pensò di provvedervi in un modo veramente nuovo. Il fiume Rekka, come lo Poik, si ingolfa sotterra presso San Canziano, a ovest di Trieste, e si ritiene sia desso che sbuca a Duino, per gettarsi in mare, a nord-est di Trieste, 20 miglia italiane distante dal luogo ove entra. Si poteva dunque presupporre che passasse

dietro Trieste, in vicinanza della città; e Lindner pensò, che, quando lo si potesse sorprender colà nella sua corsa sotterranea, sarebbe stato agevole, mediante un tunnel, derivarne le acque in servizio della città. Ma come riuscire nell'intento? Non c'era che di tentare alla cieca a uno a uno i mille crepacci dei dintorni, per vedere se alcuno aprisse una via accessibile fino al fiume. L'aria, che soffiava da quei sotterranei meati in seguito alle grandi pioggie, era un indizio di correnti, o bacini, che si gonfiavano sotterra, sospingendo l'aria al difuori: essi dovevano dunque trovarsi in libera communicazione coi sotterranei recipienti. Dopo molti tentativi inutili, si ostinarono a discendere in un crepaccio verticale, che si apriva nelle vicinanze di Trebich, a nord di Trieste. Quella fessura, a volte a volte spaziosa, non lasciava talvolta spazio bastevole per introdurvi la mano. La mina riapriva la via, e il soffio dell'aria serviva di guida. Raggiunta un'ampia caverna, di forse 12 metri d'altezza (fig. 46) si smarrì ogni traccia, e quindi ogni speranza di procedere oltro. Ma in quel mortale silenzio l'orecchio ora ancora colpito a volte a volte da una specie di ululato. Vi era dunque ancora un'apertura, per cui l'aria soffiava. A furia d'indagini la si trovò finalmente presso al cielo della caverna, e avanti!... Furono undici mesi di paziente discesa in quell'abisso, il quale condusse finalmente gli esploratori in una grotta vastissima, alta circa 85 metri. Un fiume sbucava da un'angusta volta entro la caverna, si frangeva contro i massi franati, si appianava in un tranquillo pelaghetto, e per altra angusta volta sfuggiva. L'acqua era profonda quasi 4 metri. Dall'apertura di quel crepaccio al pelo del fiume si erano misurati 323 metri (1022 piedi di Vienna); non mancavano che circa 19 metri per raggiungere il livello del mare. La Rekka era scoperta. Come il sistema idrografico della caverna del Mamouth, così quello dei sotterranei dell'Istria va soggetto a formidabili piene. Nella caverna di Trebich il livello delle acque si vide alzarsi fino a 72 metri circa; ma si raccolsero indizi di piene che si gonfiarono fino all'altezza di circa 110 metri, altezza maggiore di quella del Duomo di Milano. Rifletto di passaggio quanto enorme potenza idraulica può svilupparsi internamente, in seguito a quelle sotterranee piene.

490. Conosciuti i principî idrostatici, che regolano le sorgenti, non v'è più da meravigliarsi se sorgenti d'acqua dolce sorgano dal fondo del mare. Anzi, sapendo noi che l'acqua dolce non può istantaneamente unirsi all'acqua salata, e che, essendo più leggera, galleggia sulla salsa; capiremo ben facilmente come altri attinga acqua dolce in mezzo al mare. Basterà supporre che sgorghi dal fondo del mare uno di quei grossi corpi d'acqua, di cui abbondano gli esempî in terra.

Infatti la citata *Guide du sondeur* richiama [1] alcuni esempî interessanti. Sorgenti d'acqua dolce, stando alle relazioni di Humboldt, si mostrano a galla a due o tre miglia dal lido nella baja di Xagna, sulle coste meridionali di Cuba. È tanto il loro impeto, che le piccole barche non vi si avvicinerebbero senza pericolo.

Fu pure descritta da gran numero di autori la *Polla di Cadimare*, sorgente che s' innalza nel golfo della Spezia, formando, a 50 metri dal lido, una specie di promontorio del diametro di 25 metri, e dell'altezza al centro di 3 a 4 decimetri. È formata da parecchi getti che sgorgano da un imbuto profondo 14 a 15 metri. Altre simili sorgenti s' incontrano lungo la costa. Tali getti impediscono l' accumularsi del detrito marino in quel punto. È evidente, perciò, che quando esso detrito si deponesse all'ingiro, e il fondo marino si elevasse fino al punto di venir proscingato, rimarrebbe un bacino acqueo intercluso entro la nuova spiaggia, ossia un lago alimentato dalla sorgente. Tale dimostra il prof. Capellini [2] essere l'origine del lago della Sprugola su quella spiaggia.

Fin qui l'osservazione. Ma l'arte, ammaestrata dalla scienza, allargò assai la sfera delle nostre cognizioni intorno la circolazione sotterranea delle acque, mediante i dati dell'esperienza.

---

[1] Vol. 1, pag., 37 e 38.

[2] *Descrizione geologica dei dintorni del Golfo della Spezia.*

CAPITOLO II.

DELLA CIRCOLAZIONE SOTTERRANEA DELLE ACQUE SECONDO I DATI DELL'ESPERIENZA.

491. Il bisogno d'acqua sovra regioni sterminate, in cui mancano o scarseggiano le sorgenti, spinse gli uomini, fin dai primissimi tempi, a rintracciarla entro le viscere della terra. I pozzi non sono che sorgenti artificiali; canali, per cui si derivano le acque dai fiumi sotterranei.

492. Nelle regioni paludose voi trovate l'acqua a pochi palmi dalla superficie. Nelle regioni alluvionali voi la troverete ugualmente, ma vi converrà spingere talora lo scavo a considerevoli profondità. A ogni modo i terreni detritici superficiali s'imbevono d'acqua assai prontamente, e questa discende e si accumula negli strati inferiori del detrito, ove la viva roccia, o anche semplicemente uno strato di terra più compatta, un letto d'argilla, presentino un fondo relativamente impermeabile. Nei pozzi, che si scavano in queste regioni, l'acqua indica l'altezza della zona acquifera, cioè del suolo soprasaturo di acqua, e il suo livello oscilla col livello di essa zona acquifera, secondo l'alternarsi delle stagioni asciutte o piovose.

493. Oltre questi pozzi, che noi diremo *ordinari*, si indicano altri col titolo affatto speciale di *artesiani*. Si distinguono dagli altri pel notissimo fenomeno delle *acque ascendenti* o anche *saglienti*. Quando il traforo abbia raggiunto una certa profondità, veggonsi le acque d'un tratto, talora con impeto improvviso e formidabile, ascendere nel pozzo, e fin talora sgorgarne alla superficie del suolo, e fin anche lanciarsi in aria, formando un getto di considerevole altezza. La legge che presiede ai fenomeni dei pozzi artesiani è la legge idraulica, volgarmente nota, dei *vasi communicanti*, nei quali il liquido si livella invariabilmente alla stessa altezza. La *stratigrafia* vi insegnerà più tardi, come la crosta del globo sia in gran parte formata di strati, quasi direi di enormi tavole di roccie assai differenti l'una dall'altra, inclinate sotto tutti gli angoli, piegate e contorte in tutti i modi possibili, mantenendo pure, sotto intiere regioni, il più sicuro parallelismo. Fra quelle roccie voi ne avete di permeabili e di impermeabili. Le permea-

bili, secondo i principî esposti nel precedente capitolo, si trasformano, date le condizioni opportune, in zone acqnifere. Le une e le altre alternano sovente fra loro, sicchè del pari sovente nno strato permeabile si trova incassato tra due impermeabili; il che vuol dire, che una zona acqnifera si trova sostenuta tra gli strati impermeabili, quasi una colonna di liquido tra le pareti di un vaso. Se io traforo una parete del vaso, il liquido ben tosto ne fluisce. Se al foro praticato adatto un tubo, cioè nn *vaso communicante*, che ascenda quanto l'altro vaso, il liquido vi ascende, finchè ragginnga il livello del liquido stesso nell'altro, salvo il traboccarne, formando un zampillo o nn getto, qnando il vaso commnnicante termini al disotto del liqnido mantenuto dal livello nell'altro vaso. Non parlo degli attriti o delle altre circostanze che possono alterare il valore di questa legge.

494. La figura 47 mette sott' occhio nno dei casi più semplici e più ordinari, in cui la disposizione degli strati risponde ai postulati della teorica esposta. Siano gli strati ripiegati in guisa da formare un bacino, nna conca, di cui la fig. 47 presenta una sezione. Lo strato B molto pér-

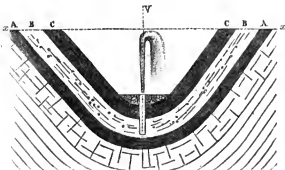



Fig. 47. Spaccato dimostrativo della teorica dei pozzi artesiani.

meabile, incassato tra gli strati A e C, impermeabili, costituisce una zona acqnifera. Le due porzioni dello stato B, laterali alla verticale V, rappresentano dne colonne di acqua, sostenute entro dne vasi. Un pozzo scavato sulla verticale V, qnando trafora lo strato B, diventa un vaso comunicante coi due nominati. Per legge idrostatica, non tenuto calcolo degli attriti, o d'altre cause disturbanti, l'acqua dovrà ascendere nel pozzo fino al livello a cni si mantiene negli altri due vasi, indicato dalla orizzontale x x; e quando il pozzo stesso non ci arrivi, guadagnare la medesima altezza, slanciandosi all' aperto in forma di getto.

495. I pozzi *artesiani* sono così chiamati dalla provincia d' Artois, dove

ne è infatti antichissima la pratica. Il più antico pozzo che vi esista vuolsi del 1126, e si trova a Lillers. Le condizioni stratigrafiche del paese ne rendono così facile l'esecuzione, che se ne trovano talora uno o più davanti a ciascuna casa. Si dissero anche *pozzi modenesi*, e l'uso dei pozzi nel Modenese rimonta, per lo meno, al principio dei tempi moderni, e vi godeva d'una speciale importanza, come l'attestano i due trapani inseriti nello stemma di Modena. Ad ogni modo pare che l'Italia abbia sulla Francia almeno il vanto della priorità scientifica, se un professore del liceo di medicina in Modena pubblicò nel 1691 un trattato di fisica con notizie importanti circa lo scavo (*terebratio*) dei pozzi, mentre il primo stampato che parli in Francia di pozzi traforati è l'opera di Belidor, *La science des ingénieurs*, pubblicata nel 1729.

496. Del resto antichissima deve essere questa industria in China, se, giusta il referto del missionario Limbert, su uno spazio lungo 10 leghe e largo 5 nel Ou-Tong-Kiao esistono più migliaja di pozzi, profondi da 15 a 1800 piedi, e alcuno fino a 3000 piedi, per lo scavo delle acque salse e lo sviluppo del gas infiammabile. Nell'Africa poi, singolarmente nella Siria e nell'Egitto, questa industria rimonta a tempi immemorabili.

497. Qui mi sia permessa una sosta, che io credo opportunissima, allo scopo di formarci un concetto adeguato del modo, della grandiosità e della universalità della circolazione sotterranea delle acque, come anche della sua importanza nella economia del globo. Non vi ha nessuno certamente che, leggendo, non si sia formata un'idea del gran deserto del Sahara, di quella pianura sconfinata, depressa in gran parte sotto il livello del mare, coperta, o piuttosto composta, per lo più, di sabbie semoventi. Chi non vede come quella landa rappresenti un mostruoso apparato d'infiltrazione, e quindi di circolazione sotterranea? Or bene, nell'indole eccezionale di quella regione, in quello squallore che sembra la negazione d'ogni provvidenza, si cela uno dei tratti più meravigliosi di quella economia sapientissima che governa le forze telluriche. Riflettete alle condizioni di un continente, che consta, quasi direi, di una bassa pianura, distesa sotto la sferza dei tropici, e limitata all'ingiro da regioni montuose. È una regione, come ognun vede, fatta apposta per escludervi le piogge, o, quando queste vi cadessero, per produrne la evaporazione quasi istantanea, sicchè pur sempre vi domini l'aridità. Altre regioni, anzi interi continenti, sorgono sotto le stesse latitudini; ma per l'America intertropicale, p. es., l'estensione e la smisurata altezza dei rilievi elide gli effetti della latitudine per rapporto alle pianure. Il sole dei tropici non impedisce che i vapori si concentrino in gran copia, anzi si congelino sulle vette eccelse delle Cordigliere. Quella regione è poi chiusa tra due mari im-

mensi; e abbiamo veduto, come il sistema della circolazione atmosferica sia tutto favorevole all'abbondante irrigazione delle immense pianure americane, che si dilatano fra le Cordigliere e l'Atlantico. Abbiamo colà sotto i tropici una regione di nevi perpetue, e perpetua, benchè oscillante entro certi limiti, la stagione delle pioggie. Le pioggie tropicali, dopo avere inzuppati i *pampas*, i *llanos*, emuli per vastità degli africani deserti, gonfiano i mille fiumi, e danno al Rio delle Amazzoni l'impero su tutti i fiumi del mondo.

498. Le pianure indiane sono anch'esse in condizioni assai proprie per non patire difetto di irrigazione. Quanto alle regioni insulari sotto ai tropici, possono dirsi immerse in una caldaja evaporante, e vengono giornalmente inaffiate, come abbiamo veduto parlando di Giava, e descrivendo il sistema delle *brezze di terra e di mare* (§ 126).

499. Lo sterminato Sahara, così depresso, è disteso sotto ai tropici, e si dilata ben lontano dai confini del mare. Da quella parte, onde normalmente gli arrivano i venti, ha un continente invece di un mare. Non vanta una sola eminenza, che arresti una nube vagante negli spazî del cielo. Il Sahara non può essere che un deserto di fuoco. Esso è però circondato da catene, le quali, se non si trovano nelle propizie condizioni delle Cordigliere e dell'Himalaya, sono però irrigate talora abbondantemente, e dovrebbero portar tributo di acque al deserto. Le catene africane presentano infatti degli scoli abbondanti, testimonio il Nilo e i molti fiumi che versano in mare all'ingiro del continente, dalla zona montuosa cioè che limita la regione dei deserti. Quei fiumi però non hanno a che fare coi deserti. Vi hanno tuttavia dei fiumi che conducono le acque verso l'interno. Ciò almeno ci consta pei vasti lembi di deserto più prossimi al Mediterraneo. Grandi correnti, scrive J. Martin[1], si riversano dalle montagne, che limitano i deserti a nord. Della loro potenza è testimonio quello spettacolo di rovina, che impresse tale fisionomia a plaghe così vaste, onde Desor credette doverle distinguere col nome speciale di *Deserto d'erosione*. Ma qui appunto ha luogo un fenomeno che importa di ben fissare, come quello che interessa l'argomento di cui ci occupiamo attualmente.

500. Quando, scrive J. Martin, il torrente esce dalle montagne per effondersi nel piano, il suo letto si allarga immensamente. Le vaste superfici coperte di ciottoli attestano il valore delle piene nella stagione delle pioggie. Più innanzi il torrente è divenuto un debole ruscello, che serpeggia nel letto sconfinato. Mano mano che ci inoltriamo verso il deserto, il letto si allarga sempre più; ma il ruscello si restringe, e presto scompare.

[1] *Revue des deux mondes*, Juillet 1864.

L'Arabo, scavando nella sabbia, trova ancora dell'acqua, quasi a fior di terra; solamente è divenuta salmastra.

501. È chiaro adunque, che, stante l'eminente permeabilità del suolo, i fiumi vengono assorbiti, e debbono continuare il loro corso sotterra. Sta intanto il fatto, che non una stilla d'acqua di corrente giunge al deserto delle sabbie semoventi, al vero Sahara dagli ignoti confini. Gli abitatori del Souf (il deserto di sabbie) odono con meraviglia narrare di sorgenti e di fiumi, come noi di mare ghiacciato, e di isole di corallo.

502. Supponiamo ora che il Sahara fosse un piano argilloso, o presentasse altrimenti un sistema meno permeabile, sicchè le acque vi potessero maggiormente dilatarsi, e bagnare, se fa d'uopo, tutta la superficie. Sarebbe egli perciò meno un arido deserto? No, certamente. È calcolato, che l'evaporazione del Mediterraneo supera di tre volte la concentrazione che ha luogo nel suo bacino. Se questo mare non ricevesse altre acque fuori di quello che gli recano i fiumi, si prosciugherebbe, diverrebbe un deserto, come il Sahara, e per irrigarlo bisognerebbe triplicare, o meglio quadruplicare la portata de'suoi fiumi. Il Sahara è in condizioni ancora più propizio all'evaporazione. Immaginatevi quanto questa dev'essere attiva su quei piani infocati, dove talvolta il termometro segna 52° all'ombra. Nell'istmo di Suez, regione ancor così discosta dal tropico, l'evaporazione fu esperimentata in media di 15 millimetri al giorno. Supposto il Sahara nelle condizioni dell'istmo, e supposto che i fiumi fossero capaci di convertire l'immensa pianura in un lago della profondità di 5 a 6 metri (potremmo di leggeri supporne anche il doppio), il Sahara in un anno sarebbe prosciugato; sarebbe ugualmente un deserto. Ma la quantità della pioggia, che cade annualmente sul globo, è calcolata di $1^m,52$. Pensate qual deve essere il suo valore in una regione, ove non piove quasi letteralmente mai, e attende l'acqua dal superfluo delle regioni confinanti.

503. Intenderete ora come la costituzione del Sahara, foggiato in un gran sistema assorbente, segni uno dei tratti più meravigliosi nella economia tellurica. Quale è difatti l'effetto dell'assorbimento, che vi vedemmo operarsi? Quello di togliere l'acqua dalla superficie e quindi di sottrarla all'evaporazione. Tornando impossibile l'irrigare il deserto mediante un sistema di idrografia superficiale, bisognò ideare un sistema di idrografia sotterranea. È veramente il sistema delle cisterne, praticato in grande dalla natura, assai prima che le cisterne fossero inventate. Si deve a questo provvidenziale artificio, se il deserto è abitato: e lo sarà un giorno ancor più, fino a offrire un facile scalo all'incivilimento dell'Africa interna.

504. Nessuno dei lettori ignora l'esistenza delle *oasi*, di quei deliziosi giardini, sparsi in grembo al deserto, come le isole di corallo in seno al-

l'Oceano. Nessuno ignora del pari, consistere quelle oasi principalmente in piantagioni di datteri. Il *re delle oasi* (secondo l' enfatico linguaggio degli Arabi) deve immergere i suoi piedi nell'acqua e la sua testa nel fuoco. Il fuoco del cielo non vien meno al dattero certamente. Ma dove trovare le acque della terra? Gli studî di Desor e di Martin non lasciano nulla a desiderare circa un argomento, che getta tanta luce sul fenomeno della circolazione sotterranea. A piedi delle montagne, finchè i fiumi si mantengono alla superficie, l'irrigazione si ottiene coi mezzi ordinarî. Diverse oasi sono infatti scaglionate lungo i corsi dei torrenti, che discendono dalle montagne sui lembi settentrionali del deserto, e sono irrigate al modo stesso dei nostri campi. Altre lo sono, entro gli stessi limiti, da copiose sorgenti, che sgorgano immediatamente dalle montagne, sulla linea di confine tra il loro pendio e il piano orizzontale del deserto. Ma eccoci ben presto alle regioni ove i torrenti si perdono. L'acqua, assorbita dal suolo viene arrestata però, dice Martin, da uno strato d'impermeabile argilla, e continua il suo corso sotterra, al riparo dai raggi del sole. Alcune sorgenti però, ove le leggi idrostatiche il consentono, sorgono ancora attraverso le sabbie, creando ciascuna un' oasi. Ma esse, già rade nella regione delle piattaforme prossime ai monti, si perdono affatto nel regno sconfinato delle sabbie sahariane. Stilla d'acqua non geme nè dalle sabbie, nè dalla crosta di gesso, la quale, a guisa di smisurato pavimento, copre tanta parte del deserto. Eppure le oasi si mostrano ancora; ancora il *re delle oasi*, a cui si fa più cocente il fuoco del cielo, trova modo d'immergere i piedi nell'acqua. La duplice maniera con cui questo avviene, merita tutta la vostra attenzione. Nel vero deserto infatti si distinguono ancora due specie di oasi: 1.° le *oasi irrigate dai pozzi artesiani:* 2.° Le *oasi del Souf.*

505. Dei pozzi del Sahara, descritti recentemente da Desor, parlano con molti particolari Ibn Kaldoun, El-Aïachi, e Shaw. Uno degli autori della *Guide du sondeur*, aggiunto alla spedizione francese, incaricata dello scavo d'una serie di pozzi artesiani nel Sahara orientale, per procurarne l' irrigazione, potè analizzare il metodo arabo, e riconoscere le condizioni del suolo.

506. I pozzi, armati di palme fesse, discendono da 45 a 80 metri. Trapassato tutto lo spessore del terreno detritico sabbioso, si incontra d'ordinario un gesso impuro, schistoso, o uno strato argilloso bianco-verdastro. È il tetto del *mare sotterraneo,* che scorre nelle sabbie. L' acqua, traforato il gesso, sgorga impetuosa, trascinando seco molta sabbia in sospensione che, col diminuire della forza ascensionale, a misura che cresce l' altezza dell' acqua nel pozzo, si depone sul fondo, e crea un ingorgo alla sorgente.

Bisogna purgare il pozzo, perchè l'acqua compia la sua ascensione, e fluisca dalla bocca del pozzo.

507. L'operazione di spurgare i pozzi dalle sabbie è orribilmente penosa per gli Arabi. Una semplice forca, piantata sulla bocca del pozzo, sostiene una corda, che scorre sulla traversa, e a cui è confidato il paniere, che il pozzaro deve riempiere. Una seconda corda è fissa al fondo, per mezzo di un peso, e serve al pozzaro di ajuto e di segnale. Il pozzaro, di una razza per lo più tisica e abbrutita dall'abuso del kif (specie di canape che si fuma), si riscalda a un gran fuoco, scende nel pozzo, si immerge nell'acqua fino alle spalle, e fisso all'armatura del pozzo, fa le sue abluzioni, recita qualche preghiera, tossisce, sputa, sternuta, soffia il naso, fa una serie di inspirazioni e di espirazioni abbastanza fragorose, poi si lascia sdrucciolar giù, attenendosi alla corda. Riempie il paniere, e rimonta. Se uno dà il segnale di soccorso, un altro si precipita immediatamente nel pozzo. L'autore ne vide precipitarsi un terzo, in ajuto dei due, e rimontare il primo sopra il secondo, e il secondo sopra il terzo. Ciascun pozzaro non fa che quattro viaggi in un giorno, riportando, tutt'al più, 40 litri di sabbia complessivamente.

508. Pozzi così mal costrutti sono di breve durata. All'epoca dell'occupazione francese, come nei torbidi della guerra ogni industria deperisce, anche le oasi andavano deperendo per difetto di acque. Il generale Desvaux vi promosse lo scavo dei pozzi artesiani con apparati europei. Il primo colpo di sonda è dato dall'ingegnere Jus a Tamerna il 1° maggio 1857. Il 19 giugno, con gioja incredibile degli abitanti, un vero torrente si lanciava dalla bocca del pozzo, versando 4000 litri d'acqua al minuto (610 litri più del pozzo di Grenelle). Oggi forse un centinajo di pozzi artesiani, scavati dagli Europei, profondi da 6 a 162 metri, vivifica il deserto, dilatandovi le oasi. Il pozzo di Sidi-Amrin versa ogni minuto 4800 litri d'acqua, leggermente salmastra, a temperatura di circa 24°.

509. Ci restano le *oasi del Souf*, i meravigliosi *ritan*. Se l'ideale di una oasi è quello di un giardino verde e ombroso, solo, isolato nell'immenso mare delle sabbie; le *oasi del Souf* sono le oasi per eccellenza, le oasi dei poeti. Un *ritan* non è che una gran fossa, scavata dall'Arabo alla profondità di circa 5 metri, fin là dove, sotto l'immensa estensione di deserto che è detta *Souf*, si distende un gran velo d'acqua; forse lo stesso *mare sotterraneo*, che è raggiunto altrove dalla sonda, e zampilla dai tubi artesiani. Il fondo di quella fossa è una foresta di datteri, i quali, figgendo le radici sotterra, si inebbriano immediatamente della linfa vitale.

510. La figura 48 è tolta dalla prima tavola, che correda le lettere sul

Sahara, dirette da Desor a Liebig.[1] La serie degli strati, sovrastanti al livello delle acque G, è come segue: a collina di terra scavata e rovesciata sul labbro del *ritan*; b sabbie con piccoli ciottoli; c strato di gesso; d strati di sabbia fina. Vedesi sulla destra, a mezza discesa, un pozzo, da cui

Fig. 48. Spaccato di un *ritan* nel Sahara.

si estrae l'acqua destinata ad irrigare la piccola ortaglia, che l'Arabo si educa presso il *ritan*.

511. Riassumendo: il deserto del Sahara, stante la sua costituzione geologica, presenta un grande apparato di assorbimento. Le acque, tributate dalle montagne all'ingiro, sono presto assorbite, e quindi sottratte alla evaporazione superficiale. Gli strati argillosi sottoposti, e le croste gessose, completano l'apparato circolatorio, formando sottostrati impermeabili, e soprastrati protettori, per cui le acque si tengono raccolte, e sono condotte, per sotterranee vie, a qualunque distanza. Tale sistema circolatorio adempie a tutte le condizioni dell'idrostatica, per cui l'acqua è ricondotta alla superficie per vie naturali, o per artificiali trafori, ovvero stagna a mediocri profondità, dove può essere attinta immediatamente dalle radici degli alberi.

512. Gli studi pratici degli autori si limitano a una estensione, la quale, per quanto vasta, messa a confronto colla vastità del Sahara, si può dire regione confinante. Non mancano tuttavia argomenti per ritenere, che il sistema di circolazione, di cui ci offrirono un saggio le regioni più settentrionali, si estenda a tutto il Sahara, anzi a tutta la gran zona dei deserti, cioè alle regioni del Caspio e dell'Aral, fino alle falde degli altipiani interni dell'Asia. Le condizioni petrografiche e geologiche si possono dire

[1] Desor, *Aus Sahara und Atlas*, Wiesbaden, 1865.

identiche: identico quindi si può supporre lo scopo; identico il mezzo per raggiungerlo. Quando la cosa sia vera di fatto, altra non ve ne sarebbe al certo, che ci potesse dare un'idea più grandiosa della circolazione sotterranea delle acque.

513. Il francese Ayme-Bey, direttore degli stabilimenti del basciả d'Egitto, rivolgendo specialmente le sue cure allo scavo dei pozzi artesiani, riuscì a cambiare la faccia del paese che Mehémet-Alì gli aveva confidato. Ma piuttosto che dello scavo di nuovi pozzi, trattavasi di liberar dalle sabbie i pozzi già scavati, di cui alcuni vuolsi rimontino a 4000 anni. Le oasi di Tebe e di Gharb ne erano tutte crivellate. I pozzi scendevano ad una profondità di 60 a 75 piedi. Qui incontravano una roccia calcarea, la quale era traforata per l'enorme spessore di 300 a 400 piedi. Allora si trovava un fondo di sabbia, come quella del Nilo, che ricetta una gran massa d'acqua, capace di ascendere in tal copia e con tanto impeto, da inondare il paese. Gli antichi Arabi aveano previsto il caso, calando sulla angusta bocca del pozzo, scavato nel calcare, una valvola di sicurezza in forma di pera, costrutta in pietra, armata d'un anello di ferro, in guisa da farla entrare e levarla a volontà, secondo il bisogno che si aveva d'acqua. Aymé scrive, ch'egli stava spazzando un pozzo, alla profondità di 325 piedi, che forniva di pesce la sua mensa. Ciò basti per formarci un'idea della libertà e dell'ampiezza di quel corso d'acqua sotterraneo.

Ecco la sezione dei terreni che si attraversano secondo il citato autore:

Terra vegetale. .	25 metri.
Argilla	
Marna	
Argilla marnosa .	
Calcare.	100 metri.

514. Pozzi consimili si scavavano anche in Arabia. Il pozzo di Zemzem, che è schiuso sotto l'edificio della Mecca, è quello, dicono gli Arabi, da cui l'angelo fece sgorgare la sorgente per dissetare Ismaele nel deserto.

Meglio però che le tradizioni degli Arabi e le opere moderne, è in questo caso da consultarsi la Bibbia. Le regioni all'est del Nilo fino alla Mesopotamia, quelle principalmente che stanno tra l'Arabia Petrea e la Palestina, dovevano essere crivellate di pozzi, come le oasi di Tebe e di Gharb. Nella storia di Agar non si dice già che l'Angelo facesse sgorgare una sorgente; ma semplicemente *Iddio le aprì gli occhi, sicchè vide un pozzo, e vi andò a riempire la sua otre*[1]. Ciò avveniva nei dintorni di Gerara, non es-

[1] *Aperuit oculos ejus Deus; quæ videns puteum aquæ abiit, et implevit utrem* (*Genesi*, XXI, 19).

sendo probabile che Agar fosse arrivata fin dove oggi sorge la Mecca. I commentatori fanno osservare come fosse costume degli Arabi di nascondere gelosamente i pozzi per ragioni economiche, troppo facili a indovinarsi, trattandosi di una terra di tanta siccità. La storia di Abramo e di Isacco abbonda di passi, atti a mostraro l' importanza che si dava ai pozzi; importanza misurata certo non solo dalla opportunità, ma dalla difficoltà di scavarli. Un pozzo, era in quei tempi e in quei luoghi, una cosa ambíta o gelosa; un tesoro, una impresa, un monumento, tutto ciò in fine che risponde all'ideale dei pozzi artesiani, che si scavano attualmente nel Sahara, e si scavarono anticamente nell'Egitto.

515. Quando Abimeleck, re di Gerara, chiede l'alleanza di Abramo, questi coglie l'occasione per lagnarsi che i di lui sudditi gli avessero usurpato un pozzo, e protesta *quoniam ego fodi puteum*, e ne pone la restituzione come condizione dell'alleanza. Più tardi troviamo anche il patriarca Isacco tribolato per ragione dei pozzi. Divenuto ricco e potente, l'invidia dei Palestini non trova miglior modo di rovinarlo che di ostruire i pozzi scavati da Abramo, riempiendoli di terra. Isacco, da uomo che non vuole aver piati, si ritira più in là, dove il padre suo aveva scavati altri pozzi: ma altra gente ribalda, i Filistei, li aveva pure ostrutti. Egli, come ai nostri giorni Ayme-Bey, dà opera a disostruirli. Bisogna dire adunque che quei pozzi fossero un qualche cosa di permanente, probabilmente scavati nella roccia, come quelli dell'Egitto. Non lascia però Isacco di scavarne uno nuovo nel letto del torrente, e trova l'acqua viva. Ma i pastori gli sono addosso ancora, e ne pretendono, con indegni motivi, il possesso. Ei si ritira, infamando quel pozzo col nome di *Calunnia*, e ne scava un altro. Sorgono risse anche per questo, che acquista il nome di *Inimicizie*. Ne scava finalmente un terzo, e lo lasciano tranquillo, per cui il pozzo riceve il nome di *Larghezza* (*latitudo*); sclamando Isacco, nell' abbondanza della gioja, come un sovrano che avesse riportato una qualche vittoria: *Ora il Signore ha dilatati i nostri confini, e ci ha fatti crescere sulla terra* [1]. Ordina poi che gli scavino un altro pozzo, essendosi portato più oltre verso Bersabea; e quando i servi gli accorrono lieti, gridando: *abbiam trovato l'acqua*, Isacco chiama quel luogo *Abbondanza* [2].

516. Si deduce chiaramente dai fatti citati, che in quelle desolate terre un pozzo bastava per assicurare la prosperità e lo sviluppo di una tribù, di un popolo numeroso, come era la gran famiglia del patriarca, di cui i re vicini cercavano l' alleanza. Il grazioso aneddoto dell' incontro di Giacobbe

[1] *Genesi*, XXVI, 14-22.
[2] *Genesi*, XXVI, 32-33.

con Rachele, pare che accenni a qualche cosa di simile, se non di identico, ai pozzi artesiani di Tebe, che finivano spontaneamente ed erano assicurati da una pietra, a mo' di valvola, perchè l'acqua non si disperdesse inutilmente. Giacobbe, giunto in Mesopotamia, trovavasi a un pozzo, ove tre greggi stavano aspettando di essere abbeverati. Ma il pozzo è chiuso da una gran pietra. I pastori, interrogati perchè tardino ad abbeverare le pecore, rispondono: che non possono levar la pietra, finchè tutte le greggie non siano congregate. È allora che Giacobbe, vedendo venire Rachele, con atto gentile verso la futura sposa rompe gli indugi, e levata la pietra, ne abbevera il gregge.

517. Questa digressione sarà giustificata dalla importanza che io ci metto nel dimostrare, almeno come assai probabile, l'identità delle condizioni idrografiche sotterranee di tutte le vaste regioni deserte, distese nella immensa depressione mediterranea, dall'Atlantico fino agli altipiani interni dell'Asia. Questo sistema di irrigazione sotterranea ci delinea uno dei tratti più grandiosi dell'attuale economia tellurica. Non lasceremo però di riflettere, come questi mari interni, utilizzati ora dall'uomo pel suo benessere alla superficie, non mancano per ciò certamente di esercitare una grande influenza nell'interno, di promovervi quella attività, a riconoscere la quale sono specialmente diretti i nostri studi sulla circolazione sotterranea delle acque.

518. Se l'industria dei pozzi artesiani nelle regioni barbare dell'Africa e dell'Asia ci rivela, più che altro, la grandiosità del sistema della sotterranea circolazione, l'industria stessa in Europa ci fa conoscere le più interessanti particolarità di questo stesso sistema. Primieramento, benchè in teorica un canale sotterraneo equivalga ad uno strato permeabile tra due impermeabili, nella pratica l'esistenza di uno strato, che può godere di enorme estensione, piuttosto che di un canale o sistema di canali, può avere una importanza capitale, dipendendo dal diverso modo di circolazione il rendere profittevoli e sicuri, piuttosto che frustanei o incerti, i trafori artesiani. A Blingel, p. es., nella valle di Ternoise, furono scavati tre pozzi nel 1820, vicini l'un all'altro: uno si convertì in pozzo artesiano magnifico; gli altri due non versarono una goccia d'acqua. A Péthune un traforo a 33 m. di profondità condusse alla superficie un bel getto d'acqua; un altro vicinissimo, aperto a 57 m., rimase secco. È chiaro che in questi casi non si trattava di strati imbibiti di acqua, ma di fessure aperte alla circolazione, in cui si imbatterono alcuni trafori, altri no. Così, ciò che nuoce alla pratica, giova alla teorica, rendendo sempre più evidente quel sistema grandioso di circolazione sotterranea, che può dare ragione di tanti fatti in geologia. Vere correnti sotterranee libere furono infatti rivelate più

volto dai trafori. In uno di essi, presso la barriera di Fontainebleau, la trivella si sprofondò improvvisamente 7m 50., e la si vide oscillante, e spinta lateralmente da una corrente.

519. Altri trafori servirono a mostrare come esse correnti sotterranee possano essere, e siano talora, in diretta e libera communicazione coll'esterno. Nel 1831 il tubo verticale del pozzo artesiano che sgorga sulla piazza della cattedrale a Tours, fu accorciato di 4 m. Si ottenne un grande aumento di acqua, dovuta a un sensibile aumento della sua velocità. Ma essa turbossi in conseguenza, e rigettò dalla profondità di 109 m. avanzi di vegetali e conchiglie d'acqua dolce, viventi in quei dintorni. Ho detto testè come Ayme-Bey si trovasse fornita la mensa di pesci che un pozzo artesiano gli inviava dalla profondità sotterranea di 325 piedi. Si potrebbe dubitare che quei pesci fossero ciechi, e appartenessero a quella fauna sotterranea che abita le caverne e la cui esistenza non dico assolutamente una libera communicazione delle acque sotterranee colle esterne. Il dubbio non riguarda però i pesci rigettati dai pozzi artesiani del Sahara. Desor ne riportò degli esemplari dal suo recentissimo viaggio. Benchè l'acqua non si trovi all'aperto che a grandi distanze dai pozzi del Sahara, quei pesci hanno occhi ben conformati e vivono negli stagni di Ourlana. Questi fatti attestano dunque la libera circolazione delle acque dall'esterno all'interno.

520. Citerò un altro fatto importantissimo, perchè mostra come la circolazione sotterranea possa trovarsi in rapporti immediati coll'Oceano. I pozzi artesiani o communi non sono invariabili, come non è invariabile la circolazione. Le diversità di afflusso dall'esterno, dipendente dallo stato di siccità o di pioggia, danno ragione dell'indicata variabilità. Ma è rimarchevole il fatto dell'influenza delle maree sui pozzi sprofondati al livello del mare, mostrando come l'influenza di esse maree possa farsi sentire nell'interno della terra, o come le cavità interne possano, su grandi estensioni, essere in communicazione col mare. Vedremo l'importanza di questo fatto per rapporto ad alcuni fenomeni vulcanici. Il pozzo artesiano di Noyelle-sur-mer (Somme) si alza e si abbassa colla marea. Arago ci racconta che a Fulham, presso il Tamigi, in una piccola proprietà del vescovo di Londra, un pozzo, forato a 97 m., dà 363 o 273 litri d'acqua per minuto, secondo che la marea è alta o bassa.

521. Per poco che conosciamo la stratigrafia del globo, non ci meraviglieremo punto di un altro fenomeno relativo alle zone acquifere, che consiste nella loro moltiplicità o sovrapposizione. La stratigrafia ci mostra un continuo alternare di roccie di diversa natura, cioè di strati sabbiosi, cavernosi, ecc., con strati marnosi, argillosi, ecc.; di strati permeabili con strati impermeabili. L'alternanza delle zone acquifere con zone ascintte

non ne è che naturalissima conseguenza. Lo scandaglio attraversa infatti sovente diverse zone acquifere, sovrapposte a diversi intervalli. A Saint-Ouen, p. es., si attraversarono successivamente 5 zone acquifere, suscettive di ascensione.

La	1.ª	a	36^m	di profondità
"	2.ª	a	45^m,50	"
"	3.ª	a	51^m,50	"
"	4.ª	a	59^m,50	"
"	5.ª	a	66^m,50	"

La sezione di un pozzo ad Alençon, di soli 19^m 88, presenta 3 zone acquifere.

Terreno detritico	Terra vegetale e sfasciume (Remblai)	Metri	6,33
	Calcare oolitico.	"	0,66
	Arkose-Grès siliceo e calcareo. . . .	"	2,84
	Sabbia quarzosa e terrosa	"	2,73
Terreno giurese	1.ª *Zona acquifera*		
	Arkose-Grès.	"	0,40
	Sabbia silicea.	"	0,50
	2.ª *Zona acquifera*		
	Arkose-Grès.	"	4,67
	Marna gialla	"	0,15
	Sabbia calcarea, silicea, micacea . .	"	0,50
	3.ª *Zona acquifera*		
	Granito disaggregato.	"	1,05
		Metri	19,88

522. Questi ultimi dati, raccolti dall'esperienza, ci conducono ad ammettere l' universalità della circolazione sotterranea delle acque. Ciò che si può dire della universalità della circolazione superficiale, considerata nell'estensione, si può ripetere della interna, presa nella profondità. Abbiamo nell' interno e fiumi e laghi e mari, che si sovrappongono a diversi livelli: abbiamo un sistema di circolazione per liberi canali, per cui l'acqua scorre in tutti i sensi dall' esterno all' interno, e dall' interno all' esterno. Forse quei liberi fiumi penetrano fin nelle ime viscere della terra, e vi realizzano il favoleggiato Flegetonte. Ma ciò che non si può asserire della circolazione per liberi canali, deve avvenire indubbiamente, mediante la circolazione per infiltrazione. Tutte le zone sono permeabili, e non si vede

qual legge debba impedire alle acque di spingersi fin nelle regioni più centrali del pianeta. I vulcani e le esperienze di Daubrée ci mostreranno del resto come ciò avvenga di fatto, come le acque penetrino fin entro ai camini, ove si generano le lave incandescenti; ci mostreranno anzi quanta sia la parte rappresentata dalle acque in tutti i fenomeni d'interne generazioni. Lo studio della attività intrattenuta dalle acque nell'interno del globo comincia col capitolo seguente.

CAPITOLO III.

LE SORGENTI COME PRIMA MANIFESTAZIONE DELLA ATTIVITA' INTERNA DEL GLOBO.

523. La copia delle acque interne è forse maggiore di quella delle esterne, scorrenti nei fiumi, raccolte nei mari, diffuse nell'atmosfera. L'ideale della grandiosità dell'interna circolazione delle acque non va perduto di vista, dovendone nascere un altro: quello della grandiosità degli effetti, che essa circolazione deve produrre nell'interno del globo. Lo studio delle sorgenti, specialmente per rapporto alla loro temperatura e alla loro natura chimica, ci dirà quanto moltcplice sia quell'attività, che le acque intrattengono nell'interno del globo. Or bene, ogni singolo effetto va moltiplicato in ragione della grandiosità della circolazione, la quale è destinata a produrlo.

524. Abbiamo dimostrato come l'acqua, che esce dall'interno del globo, è quella stessa, che vi è entrata dalla superficie. Ma quell'acqua, dicevamo, entra fredda ed esce calda, talora anzi bollente, o sciolta in vapore; entra pura, ed esce fortemente mineralizzata. Le nuove proprietà le ha dunque acquistate nel suo giro interno: vi ha dunque un'attività interna che l'acqua subisce e promove. Dico anche promove, poichè le proprietà chimiche nascono dalla mutua reazione fra loro dei diversi elementi. Mille argomenti ci proveranno del resto come l'acqua sia il primario fattore dell'attività interna del globo. Noi consideriamo dunque ora le sorgenti come una prima rivelazione di quella attività fisica e chimica, di cui studieremo più tardi le manifestazioni più complete.

525. Le sorgenti, classificate secondo i loro rapporti, sono:

I. *Per rapporto alle loro fasi*

1.° Perenni, 2.° Temporanee, 3.° Intermittenti.

II. *Per rapporto alla temperatura,*

1.° Termali o calde, 2.° Fredde.

III. *Per rapporto alle sostanze disciolte,*

1.° Minerali, 2.° Pure.

526. Cominciando dalle fasi, esse non rivelano che alcune specialità del regime materiale delle acque circolanti nell'interno. Dirò da prima poche parole circa il fenomeno della intermittenza, che non sembra avere quasi nessuna importanza per la geologia.

Diconsi intermittenti le sorgenti, non già semplicemente perchè presentino quelle fasi di intermittenza, che si verificano per le sorgenti avventizie ed incostanti, ma per il fenomeno singolarissimo di una intermittenza periodica, che si verifica indipendentemente dalle esterne condizioni meteorologiche. Anche in questo argomento delle sorgenti intermittenti la *Guide du sondeur* di Degousée e Laurent è ricca di esempî.

527. La sorgente di Fontestorbes in Linguadoca, nei tempi di siccità, cioè dal giugno al settembre, diviene intermittente, fluendo per 36 o 37 minuti, con intervalli di 32 minuti e mezzo. Lo scolo però va allungandosi, quando la stagione è piovosa. Plinio parla di diverse sorgenti intermittenti, oltre la famosa *Pliniana* (lago di Como) che si alza e si abbassa 3 volte al giorno. Una fontana calda nell'Islanda sgorga gorgogliando per un'ora, e lascia per 23 ore il suo bacino asciutto, secondo Brinolfo Svenone. Childrey descrive una sorgente presso Buxton nel Derby (Inghilterra), che scorre di quarto in quarto d'ora. Il *Bolder-Born*, o fontana muggente, di Paderbon in Vestfalia, scorre e si dissecca due volte al giorno, annunciandosi con un gran rumore.

528. Piganiol de la Force descrive una fontana periodica nella Franca Contea, tra Touillon e Pontarlier. Il flusso si annuncia con un rumore di ribollimento, e l'acqua sgorga da tre aperture, formando tre getti, che vanno crescendo fino all'altezza di un piede, poi diminuendo gradatamente. Il giuoco si ripete circa di quarto in quarto d'ora, coll'intervallo di due minuti. A Colmars, in Provenza, una fontana sgorga e si dissecca otto volte ogni ora.

529. Altri esempî potrebbersi citare. Quanto alle cause del fenomeno, quando ci figuriamo l'apparato per l'idrografia sotterranea, come un gran sistema di vasi comunicanti, dove l'acqua e l'aria sono in continuo movimento, è facile ammettere come le fontane intermittenti, immaginate dai fisici, ed altre che si potessero immaginare, mettendo in giuoco dei sifoni, la pressione atmosferica, ecc., debbano già trovarsi in azione sotterra. L'ipotesi di un crepaccio a sifone, immaginato per spiegare le intermittenze della *Pliniana*, è così semplice e così conforme all'indole delle crepature e delle caverne sotterranee, che io non dubito punto potersi applicare alla spiegazione della maggior parte delle sorgenti intermittenti. La caverna verticale di Trebich (Fig. 46, § 486) presenta, p. es., diverse porzioni che potrebbero, con lievi modificazioni, offrire per l'appunto il richiesto apparato a sifone. Ad ogni modo si tratta di un semplice fenomeno

di intermittenza non complicato, come nei Geyser, di cui parleremo più tardi, da eruzioni gasose o da altro. Il fenomeno può quindi riferirsi semplicemente ai fenomeni idrostatici, cui dà luogo la disposizione dell'apparato, destinato a raccogliere ed a condurre le acque dall' interno all' esterno.

530. Un fenomeno grandioso però, che entra nella categoria di quelli di cui ora ci occupiamo, è offerto, non so con quale frequenza, dal lago di Ginevra. A certe epoche dell'anno il livello delle acque si eleva d' improvviso circa un metro, senza che i confluenti offrano delle crescite sensibili. In capo ad alcune ore il lago ripiglia il primitivo livello. Si immagini l'immensa copia di acque che affluisce nel bacino certo per vie sotterranee. L'ipotesi emessa dall'ingegnere Vallée, può ragionevolmente accettarsi. Il lago di Ginevra si unirebbe per vie sotterranee a grandi serbatoi nelle viscere dell'Alpi, i quali alla lor volta sarebbero in communicazione cogli immensi campi di ghiaccio che ne coprono le vette. Si immaginino pioggie torrenziali, improvvisi disgeli. Grandi masse d' acqua, valanghe, massi enormi di ghiaccio si precipitano nelle supposte voragini. L'aria compressa reagisce sui grandi serbatoi, e questi, injettati dal fondo del lago, ne accrescono enormemente la massa.

531. Ma, ripeto, il fenomeno dell'intermittenza, comunque spiegato, non è che una specialità, un mero accidente, il quale non ha che un interesse ben mediocre all'occhio del geologo. Ben altrimenti lo interessano i fenomeni più universali e più essenziali della temporaneità o della perennità, come quelli che dipendono certamente, a parità di condizioni, dalla profondità da cui derivano le sorgenti, e lo mettono in grado di distinguere le acque interne superficiali dalle profonde, quello che non possono dirgli molto di più di quel tanto che il geologo può osservare direttamente, da quelle che gli rivelano ciò che avviene negli abissi più inaccessibili.

532. Chi non ha osservato ciò che avviene in seguito alle pioggie continuate, o anche a un solo acquazzone? Cascate improvvisate sui fianchi dei monti, come sulla scena di un teatro meccanico; sorgenti senza nome, che nascono come per incanto; acque che sgorgano al piede d' ogni colle, e fin alla base d'ogni muricciuolo che gira intorno a un campo. Ma in breve quelle cascate si arrestano, quelle sorgenti si esauriscono. Non rimangono che le sorgenti aventi un nome, note agli abitatori del luogo come più o meno durevoli. Molte di esse infatti, se dura la siccità, subiscono, dopo un certo tempo, la sorte di quelle altre sorgenti così abortive.

Restano soltanto quelle sorgenti, relativamente assai rade, che meritano il nome di perenni. In epoche tuttavia di straordinarie siccità alcune di queste smentiscono il loro nome, non rimanendo che alcune veramente perenni, che nessuno vide mai venir meno.

533. Queste sorgenti, che solo hanno diritto all'epiteto di perenni, costituiscono quasi una famiglia a parte, aggiungendo ordinariamente al carattere della perennità quello di un'alta temperatura e d'un grado distinto di mineralizzazione. Udiste mai che venissero meno le acque di San Moritz, di Tarasp, di Bormio, di Santa Caterina, di Abano, di Trescorre, di San Filippo in Toscana, e cento altre note come distintamente minerali, e spesso decisamente termali? Queste sorgenti non mostrano punto di avvedersi delle variazioni esterne. Nè si gonfiano cogli acquazzoni nè si esauriscono colla siccità; nè si riscaldano d'estate nè si raffreddano d'inverno; nè si intorbidano colle piene nè si purificano colle magre. Se patiscono qualche variazione, questa non varca i limiti di quella influenza che esse pure devono subire, percorrendo gli strati più superficiali e versandosi al difuori. Ecco le sorgenti importanti pel geologo, come rivelazioni dell'interna attività del globo, essendo di prima evidenza questo, che dette sorgenti, sottratte alla influenza esterna, ripetono le loro proprietà da una influenza interna, di cui esse medesime (per la ragione che dagli effetti si può assorgere alla causa) ci conducono a scoprire la natura.

534. I fatti ci autorizzano dunque a stabilire il principio: che le sorgenti sono tanto più profonde quanto più perenni; per cui lo studio delle sorgenti perenni ci servirà a riconoscere lo stato dell'interno del globo, chiuso alla immediata osservazione. Noi vediamo già infatti come, stante le proprietà fisiche e chimiche già accennate quali caratteristiche delle sorgenti perenni, ci si palesa un gran fatto d'ordine fisico; quello dell'esistenza di un'alta temperatura nell'interno del globo. Un altro fatto è quello di una attività chimica infinitamente molteplice.

535. Cominciando dal primo, le sorgenti termali ci confermano, poi ci spingono più innanzi nella cognizione di un fatto, che già risulta all'esperienza diretta. Le sorgenti sono un termometro spinto a profondità assai maggiori di quelle che l'uomo abbia mai potuto attingere finora.

Alla superficie della terra la temperatura oscilla continuamente. Tenendo calcolo di tali oscillazioni, la meteorologia potè stabilire delle medie, dei massimi e dei minimi. I più importanti pel caso pratico sono i minimi, i massimi e le medie annuali. Tali oscillazioni, sensibilissime e rapide alla superficie del suolo, si fanno sempre più tarde e meno sensibili, quanto più ci sprofondiamo, finchè si giunge ad uno strato, dove la temperatura si mantiene invariabile. Discendendo da questo *strato a temperatura costante*, la temperatura va crescendo. Accuratissimi studî nelle profondità delle miniere, osservazioni dirette, ripetute sotto le più svariate latitudini del globo, hanno non solo sancito il fatto, ma svelato che l'aumento della temperatura forma colla profondità una progressione che, salve oscillazioni

indifferenti nella pratica, indifferentissime poi per quelle applicazioni geologiche a cui miriamo, si mantiene costante. La temperatura sotto lo strato invariabile cresce di 1° centig., per ogni 30 a 32 metri di profondità.

536. Non è detto che lo strato a temperatura costante abbia la stessa temperatura sotto qualunque latitudine. Essa è invece diversissima per le diverse latitudini. Siccome quanto più discendiamo sotto la superficie del suolo, le oscillazioni sono tanto meno pronunciate tra il massimo e il minimo della temperatura esterna, verrà un punto in cui le oscillazioni si annichilino; avremo cioè una media costante tra i due estremi. In questo punto troveremo lo strato invariabile, e la sua temperatura sarà equivalente alla media temperatura esterna. Ciò che potevasi conchiudere per via di ragionamento, risultò dimostrato col fatto: si trovò appunto che la temperatura dello strato invariabile equivale alla temperatura media della corrispondente regione, per cui, conoscendo la temperatura media di un paese, posso già stabilire quella dello strato invariabile e viceversa.

537. Alla temperatura media esterna, o se vuolsi, alla temperatura dello strato invariabile, deve corrispondere la profondità di esso strato. Tenga luogo di una dimostrazione il fatto che lo strato a temperatura invariabile è tanto più profondo, quanto più bassa è la temperatura media; in altre parole quanto più andiamo dall' equatore verso i poli, salvo le note irregolarità delle linee isotermiche, a cui devono corrispondere le linee isotermiche dello strato invariabile. Sotto i tropici la profondità di detto strato è di 8 a 9 pollici; cresce mano mano fino al 45° di latitudine, dove si trova di circa 60 piedi; a Parigi è già a 36 piedi, e così via via fino alle regioni polari.

538. Ecco dunque come si possa stabilire un piano (parlando di tutta la terra diremo una sfera) che, partendo dalla profondità di qualche pollice sotto l'equatore, discende a qualche centinaja di piedi sotto i poli, e separa uno strato esterno che risente delle oscillazioni atmosferiche, da un gran nucleo interno dove tali oscillazioni non si fanno più sentire, dove invece, partendo dal limite che abbiam definito, la temperatura cresce dall'esterno all'interno invariabilmente 1° centig. ogni 30 a 32 metri. Non potendosi un tale accrescimento ripetere dalla temperatura esterna, è forza ritenerla effetto di una temperatura interna, e questa va quindi crescendo coll'accennata progressione. Tale progressione si avvera anche nelle latitudini polari, dove la temperatura dello strato invariabile è inferiore a zero. Nella zona glaciale l'intenso calore della brevissima estate non penetra che ad una assai mediocre profondità. Il terreno disgela superficialmente, la vegetazione vi ripiglia vita; ma a mediocre profondità, tutto è invariabilmente impigliato nel gelo eterno. A Jokoutsk in Siberia fu scavato un

pozzo fino alla profondità di 382 piedi inglesi. Si dovette per ciò rompere uno strato di ghiaccio sotterraneo dello spessore di 358 piedi, il quale non lasciò tuttavia di presentare un progresso di temperatura dall'alto al basso, al pari di qualunque altro terreno, benchè non si riuscisse ancora a trovare lo zero. Ecco la progressione:

Profondità	Temperatura
50 piedi inglesi	— 6° 61
100 "	— 5° 22
150 "	— 4° 64
200 "	— 3° 88
250 "	— 3° 34
382 "	— 2° 40

Dietro tale progressione, lo 0° si sarebbe dovuto trovare da 613 a 642 piedi di profondità.

539. Si intenderà ora l'importanza delle sorgenti, considerate in rapporto alla loro temperatura. Siccome l'acqua che esce è quella stessa che è entrata, quel tanto di temperatura che sorpassi il grado che ha potuto ricevere dal difuori, si deve necessariamente ripetere dal di dentro. Venendo all'applicazione, la distinzione fra sorgenti *termali* e sorgenti *fredde* può stabilirsi in un modo così scientifico, che la dinamica terrestre ne possa dedurre una serie di corollarî certi del pari che importanti.

540. Non vi ha grado che corrisponda, in via assoluta, alle sorgenti *termali* od alle sorgenti *fredde*. Noi communemente chiamiamo sorgente termale quella, la cui temperatura supera la temperatura dell'ambiente, in guisa di darci una dichiarata sensazione di caldo. Se no, la diciamo fredda. Parmi però di poter proporre un cánone, per distinguere in via assoluta le sorgenti termali dalle fredde. Il cánone sarebbe questo: « Diconsi sorgenti termali quelle, la cui temperatura si tiene costantemente superiore alla media temperatura dell'ambiente; sorgenti fredde quelle, la cui temperatura oscilla tra il minimo e il massimo della temperatùra dell'ambiente. » Richiamando i dati della esperienza circa la progressione dell'interna temperatura, ne apparirà l'aggiustatezza. È certo che la temperatura di una sorgente, in quanto non dipende dalla temperatura esterna del globo, dipende dall'interna. Finchè la temperatura della sorgente (ridotta essa pure alla media quando presenti delle oscillazioni) non sorpassa la media esterna, avremo ragione di credere che essa temperatura dipende appunto dalla esterna temperatura: non avremo in ciò che un fatto di nessun rilievo, il quale non esce dal dominio dei fenomeni esogeni. Quando invece la temperatura della sorgente superi costantemente la media esterna, essa temperatura non si può ripetere che dalla interna temperatura del globo:

e già per ciò una sorgente ci può divenire una spia dello stato del globo a profondità molto maggiori di quelle raggiunte fino ad oggi e sottoposte ad osservazioni dirette.

541. Le sorgenti artificiali, cioè i pozzi artesiani, danno alle induzioni teoriche il valore di un fatto dimostrato dalla scienza esperimentale. In una identica località l'acqua dei pozzi riesce tanto più calda, quanto essi sono più profondi, e ciò con una progressione assai prossima a quella già altrimenti stabilita.

Ecco alcuni esempî in proposito tolti dai pozzi artesiani di Francia:

Pozzo di	Saint-Ouen	profondità	m. 66	temperatura	+ 12°,9
"	Chapoiseau	"	" 140	"	+ 17°,5
"	Grenelle	"	" 548	"	+ 27°,4

Lo strato a temperatura costante a Parigi è di + 10°,6 e si trova a circa 22 metri di profondità sotto la superficie del suolo. Estendendo tali cifre a tutta la Francia, come ci è lecito il farlo, non trattandosi qui che di un calcolo approssimativo, i tre pozzi citati darebbero appprosimativamente in media un progressivo accrescimento di + 1° per ogni 23 metri di profondità, sotto lo strato a temperatura invariabile.

542. Quanto abbiamo finora esposto ci autorizza a stabilire i seguenti principî:

1.° Le sorgenti, per quanto non sono in rapporto colla temperatura esterna del globo, lo sono coll'interna.

2.° Quanto più la sorgente è calda, tanto più la sua origine è profonda.

3.° In base alla progressione riconosciuta della temperatura, partendo dallo strato invariabile, si potrà dalla temperatura d'una sorgente termale dedurne la profondità, il che vale lo stesso come fissare la temperatura del globo ad una profondità corrispondente.

Pigliamo a mo' d'esempio la sorgente detta *Aguas calientas de las Trincheras* sulla costa settentrionale della Venezuela, trovate da Boussigault alla temperatura di + 97°. In mancanza di dati sulla media temperatura di quella regione, supponiamo (cosa indifferentissima del resto) che essa sorgente sgorghi a Parigi, dove lo strato invariabile, a 86 piedi (circa 27 m.) di profondità, ha circa + 10.° di temperatura. Calcolando in base alla progressione di 1° per 30 m. a 32 m., le *Aguas calientas* verrebbero dalla profondità di 2610 a 2784 metri.

543. In tal genere di calcolo bisognerebbe però tener conto degli accidenti che possono disturbare la progressione; renderci ragione, p. es., dell'influenza che può subire la temperatura delle sorgenti, passando at-

traverso, forse per lungo cammino, agli strati a temperatura variabile; dell'infiuenza della miscela di acque provenienti da diverse zone acquifere, ecc. Ma tali accidentalità non sono di grande importanza per la teoria geologica, a cui l'alta temperatura di alcune sorgenti rivela indubbiamente due importantissimi fatti: 1.° che la circolazione delle acque si avvera nell'interno del globo a grandi profondità; 2.° che a grandi profondità esiste un'alta temperatura. Anzi, siccome le cause citate come aventi influenza sulla temperatura di una sorgente termale sono tali piuttosto da diminuirla che da accrescerla; avvi diritto di ritenere per una sorgente termale una profondità ancora maggiore di quella che fosse dedotta dal calcolo, basato semplicemente sulla progressione stabilita.

544. Accennerò alcune delle sorgenti termali conosciute per la loro altissima temperatura. Le sorgenti dette *Aguas de Comangillas* nel Messico, furono trovate da Humboldt di 96°,4. Scaturiscono da una montagna di basalte, che trafora, a modo di filone, un porfido riposante sulla sienite. La citata sorgente *Aguas calientas de las Trincheras*, sulla costa settentrionale della Venezuela, furono pure trovate da Humboldt a 90°,3 nel 1800. Ventitrè anni dopo Boussigault le trovò di 97°. La loro temperatura si era dunque accresciuta di 6°,7. Ma si osservò che nel 1812 ebbe luogo il terremoto che distrusse Caracas, il quale può aver aperto più larghe o profonde fessure nel granito da cui scaturiscono. La sorgente di Jumnotri nell' India sgorga pure dal granito a 90°. Se bene mi ricordo, la sorgente detta la *Bollente* ad Acqui, a circa 60°, sgorga da roccie terziarie.

545. Ragionando così delle sorgenti termali, abbiamo però sempre avuto l'intenzione di escludere dal novero di quelle, a cui si applica la teorica della progressione del calore interno, le sorgenti che dalle loro termalità trovano ragioni più immediate. Parlo delle sorgenti calde, che occorrono nei distretti vulcanici, dove i vulcani sono ancora attivi, o almeno non è spento interamente il vulcanismo. Ognun vede come in tali distretti l'alta temperatura delle sorgenti può facilmente trovar ragione o nelle grandi masse di lava eruttate, di cui vedremo lentissimo il raffreddamento, o negli spiragli vulcanici, per cui l'alta temperatura dell'interno si porta immediatamente alla superficie, sia per irradiazione immediata, sia per la conduttività delle roccie, ovvero per lo svolgimento di vapori o di gas ad alta temperatura. La sorgente, o piuttosto il getto di vapori acquei, che attrae i curiosi in un angolo della Solfatara di Pozzuoli, può essere intrattenuto da acque filtranti e circolanti a profondità molto mediocri. Infatti scavando il suolo, entro il recinto della Solfatara, a 3 o 4 metri di profondità, si trova quasi la temperatura dell'acqua bollente; cosa che ho potuto verificare io stesso, discendendo entro uno scavo che vi si praticava per

estrarvi quella specie di fango bianco, che risulta dalla decomposizione della trachite, utilizzato, credo, in servizio della pittura. La storia del vulcano Jorullo, che ci tornerà conto di narrare a suo tempo, ci offre intanto un bellissimo esempio di una sorgente termale, improvvisata alla superficie. Una gran massa di lava si espanse sul pendio dove scorrevano i due ruscelli di Quitemba e di San Pedro. Intercettati da quell'espandimento, trovarono però modo di attraversarlo per di sotto, ricomparendo sul lato opposto di esso in forma di sorgente termale, la cui temperatura si ripetè così evidentemente dalla lava, che andò scemando col raffreddarsi di essa. Visitata da Humboldt, 46 anni dopo l'eruzione, aveva una temperatura di 52° C. Visitata recentemente, come riporta lo Scrope [1], supera di poco la temperatura esterna. Delle sorgenti termali, che dipendono immediatamente dai vulcani, noi vogliamo fare una categoria a parte, unendole alle *stufe* e ai *geyser*, che verranno compresi tra le manifestazioni vulcaniche.

546. Sarebbe studio importantissimo quello della distribuzione delle sorgenti termali intese a distinguere le sorgenti che ripetono la loro temperatura immediatamente dai camini vulcanici, dalle altre che ne sono affatto indipendenti. Le sorgenti termali abbondano nei distretti vulcanici, e ne sono una caratteristica. Ma non è men vero che si trovano sorgenti termali in località affatto distanti dai vulcani. Le sorgenti di Pfeffers, di Bormio, del Masino, del Vallese, ecc. sgorgano dalle rupi nel cuore delle Alpi.

547. Se le sorgenti, in quanto sono termali, manifestano una grande attività fisica nell'interno del globo, una grande attività chimica è pur da esse palesata, in quanto sono minerali. Le acque, abbiam detto, entrano pure e escono mineralizzate. Furono dunque modificate da una attività interna, di cui sono una manifestazione splendida, molteplice, perenne.

Quanto sarebbe importante anche qui di stabilire un cánone per distinguere le sorgenti minerali da quelle che, almeno convenzionalmente, possono chiamarsi pure! Infatti non v'ha sorgente *pura* nel senso stretto della parola, contenendo tutte, più o meno, sostanze minerali in soluzione. Le sostanze più universalmente associate alle sorgenti, sono: l'azoto, l'ossigene, il gaz acido carbonico, e sostanze organiche. Ma l'unione delle acque sorgenti alle predette sostanze è da ritenersi, nella sua universalità, come fenomeno totalmente esogene. Le acque che filtrano dalla superficie terrestre, traggono seco l'azoto derivato dalle sostanze organiche, l'ossigeno che si trova in eccesso nelle acque pluviali e nelle nevi, il gas acido carbonico in parte rapito all'atmosfera, in parte derivato egli pure dalla

[1] *Les volcans*, pag. 152.

decomposizione delle sostanze organiche. Non parliamo poi delle sostanze organiche stesse, di cui è così facile la derivazione dall'*humus* per via delle acque d'infiltrazione. Quando tuttavia l'azoto, il gaz acido carbonico stesso, sono associati alle acque sorgenti in tale quantità, che non sia in proporzione colla dose di cui possono arricchirsi le acque filtranti dall'esterno all'interno; quando alle acque sono associate sostanze, della cui presenza non si può in nessun modo rendere ragione, guardando all'esterno; allora le acque rivelano un'azione interna, e allora soltanto le sorgenti si direbbero *minerali* assumendo in realtà un altro carattere, oltre la termalità, che dà loro diritto di venir considerate come *manifestazioni* dell'attività interna del globo. Toccherebbe ai fisici il fissare un *maximum* di mineralizzazione esterna, da cui si partirebbe per misurare il grado di mineralizzazione interna, come dallo strato a temperatura costante partimmo per misurare la termalità delle sorgenti, cavandone tutte le opportune conseguenze. Finchè non si stabilisca un cánone, ci accontenteremo di designare come sorgenti *minerali* quelle a cui evidentemente si associano sostanze minerali tali, o in tale proporzione, da non potersi ripetere dall'esterno.

548. Le sorgenti minerali si distinguono in diverse classi a seconda del predominio di certe sostanze: ben inteso però che l'analisi chimica rivela le miscele più varie e le più varie combinazioni. Ecco le classi principali:

Sorgenti calcaree. — Ci son già note abbastanza le sorgenti incrostanti con carbonato di calce, o con carbonati consimili. Noteremo solo qui che sorgenti calcaree sgorgano, p. es., nella Francia centrale dal granito, dal gneiss, da roccie infine che non contengono, se non forse in minima dose, il carbonato di calce.

Solforose e *gessose.* — Sono meno numerose delle precedenti, ma esistono sorgenti che depongono solfo o solfato di calce. Le sorgenti di Baden presso Vienna depongono una fina polvere di solfo, solfato e muriato di calce.

Silicee. — Depongono selce le sorgenti di Fornas nell'isola San Michele, i geyser d'Islanda, ecc.

Ferruginose. — Sono moltissime, ricche di ferro combinato, disciolto, a quanto pare, per mezzo del gaz acido carbonico, per la cui perdita il ferro si depone e, convertito in ossido, tinge in giallo ed in rosso il terreno ove l'acqua o scorre o stagna.

Saline. — Molte sorgenti contengono cloruro di sodio tanto solubile che in alcune sorgenti rappresenta per un quarto il peso dell'acqua. Tali sorgenti si caricano esse medesime di sale passando attraverso gli strati di salgemma? Certo avverrà questo sovente. Per es., le acque saline di

Barton nel Lancashire e quelle di Droitwich nel Worcestershire scaturiscono appunto da grès ricchi di salgemma. In molti luoghi invece il sale non saprebbesi ove andarlo a pigliare. Vedremo come (pel sale non solo, ma pei diversi minerali contenuti nelle sorgenti) voglia la sua parte l'attività vulcanica, cioè quell'azione chimica, capace di elaborare le più svariate sostanze, che opera nell' interno della terra e non vuole altro che i componenti per produrre i composti.

Acidule o *Carbonate*. — Si dicono tali le sorgenti quando sono cariche di gaz acido carbonico.

549. Ripeto infine che nulla v' ha finora di più convenzionale di tali nomi e di tali classazioni, stante la chimica complicazione delle acque minerali. Citerò a proposito l' analisi pubblicata da Planta di Reichenhau della sorgente di Tarasp, detta la *grande sorgente*, classificata come *sorgente salina*.

Carbonato di calce	1,6188
" di magnesia	0,6610
" di protossido di ferro	0,0198
" di soda	3,5455
ClorNro di sodio	3,8283
Joduro di sodio	0,00023
Solfato di soda	2,1546
Solfato di potassa	0,3903
Selce	0,0321
Acido fosforico	0,0003
Solfato d' allumina	0,0002
Acido carbonico	7,0802

550. Se poi si fa lo spoglio delle diverse analisi, è prodigioso il numero delle sostanze che vi sono disciolte. Si può dire che non si trova un solo minerale, il quale o non sia sciolto nelle acque circolanti, o non mostri che esse hanno concorso a produrlo. Ma l' argomento non può trattarsi che incompletamente entro i confini della dinamica terrestre. Aspettiamo di essere a quel punto ove il complesso dei dati, offerti dalla dinamica terrestre e dalla endografia, ci metteranno in grado di dimostrare come l'acqua meriti il nome di *solvente universale* e di *primo agente* dell' attività interna del globo in tutti i luoghi e in tutti i tempi. Giovi per intanto una lista dei principali minerali scoperti nelle sorgenti :

Azoto
Acido carbonico
Idrogeno protocarbonato
" solforato
Carbonato di ammoniaca
Solfato di potassa
" di soda
" di calce

Magnesia
Soda
Potassa
Iodio
Ferro
Acido fosforico
» solforico
» silicico
Ossido di manganese
» di ferro
Carbonato di soda
» di calce
» di magnesia
» di protoss. di ferro.
Cloruro di sodio
Ioduro di potassio
» di sodio

Solfato di magnesia
» di allumina
» di stronziana
Fosfato di calce
» di soda
» di ferro
Fluato di calce
Solfidrato di calcio
» di magnesio
» di potassio
» di sodio
Cloruro di calcio
» di magnesio
» di potassio
Bromuro di magnesio
» di potassio
» di sodio.

551. Del resto è aperto un largo campo alla *chimica geologica*. Raccogliendo i fatti già noti, facendo principalmente lo spoglio delle tante analisi chimiche di cui andiamo debitori, in questi ultimi tempi, in parte alla virtù medica delle sorgenti, e più ancora, alla speculazione che seppe, bene o male, usufruttarla, io penso che potrebbesi dedurre una sintesi abbastanza matura circa l'attività chimica dell'interno del globo in rapporto colla circolazione sotterranea delle acque. In questo studio, che è da fare, bisognerebbe considerare la mineralità delle acque sotto diversi rapporti. I più importanti di questi rapporti sarebbero, secondo me, i seguenti: 1.° la temperatura delle sorgenti; 2.° la loro elevazione sopra il livello del mare; 3.° la loro distribuzione geografica; 4.° la natura degli strati, o del gruppo di roccie da cui sgorgano; 5.° la serie geologica, entro la quale dovrebbero circolare per giungere alla loro foce. Ecco alcuni cenni che faranno sentire l'importanza di tali rapporti.

552. Primieramente, per rapporto alla temperatura, si nota che, in generale, le sorgenti termali sono anche sorgenti minerali. Si verificano però delle spiccatissime eccezioni. Le acque termali di Luxeuil, di Pfeffers, di Gastein sono più pure delle più pure fontane. Non ugualmente si può dire che le sorgenti minerali siano in generale termali. Se le sorgenti termali si contano a decine, le minerali si contano a migliaja. Questi fatti non mi recano meraviglia. L'alta temperatura accresce, come ognun sa, l'attività solvente, e in genere l'attività chimica delle acque. È quindi naturale

che le sorgenti termali sieno mineralizzate. Ma le acque interne, benchè dotate in origine di alta temperatura, dovranno spesso percorrere sì lungo cammino, attraverso gli strati superiori, da arrivare fredde, benchè mineralizzate, alla superficie. Quanto alle accennate eccezioni, esse vogliono dire che l'alta temperatura non è condizione sufficiente alla mineralizzazione delle acque, ma bisogna che vi concorrano altre circostanze. Se mi è permesso esprimere un'opinione, io crederei che tali circostanze si riducano a due: 1.° all'incontro di sostanze interne, che possano sciogliersi immediatamente nell'acqua, ad una data temperatura, sotto una data pressione; 2.° all'incontro di sostanze che, associate all'acqua, possono fungere l'ufficio di solventi. La prima circostanza può avverarsi e sì e no: anzi non si verificherà così facilmente, poichè sono poche le sostanze corticali del globo sparse in quantità sufficiente o abbastanza solubili, perchè l'acqua possa facilmente incontrarle e riportarne sciolta una quantità appena sensibile. Ad eccezione del salgemma, non saprei quale altro minerale possa dare origine ad una sorgente minerale per immediata soluzione. A questo caso, del resto, credo non debba attribuirsi molta importanza. Parmi invece importantissimo, del pari che facile ad avverarsi, il secondo caso, cioè che alle acque in circolazione si uniscano dei minerali, nominatamente dei gas, che servano di solventi.

553. Supponiamo, p. es., che ne' molteplici meati l'acqua si incontri in un getto di gas acido carbonico, di cui si saturi, sotto una forte pressione, quale è quella che sopportano le acque circolanti a considerevoli profondità. Quella sorgente esercita immediatamente una vera rapina sull'ossido di ferro, sui carbonati di calce, di ferro, di manganese, sulle stesse roccie felspatiche, su una quantità di sostanze rocciose, attraverso le quali continua il suo volubile cammino. Ora osservo da una parte, che l'analisi delle sorgenti minerali accenna, forse sempre, alla presenza di gas, e che la presenza sopratutto del gas acido carbonico nelle sorgenti è fenomeno quasi altrettanto volgare quanto le sorgenti stesse. Osservo però d'altra parte che le emanazioni gasose, e specialmente quelle di gas acido carbonico, costituiscono da sè sole un fenomeno tellurico importantissimo per la sua universalità ed indole eminentemente endogene. Ne conchiuderei, che la mineralizzazione delle acque è dovuta specialmente al concorso delle emanazioni gasose, e che, per buona parte, l'attività chimica nell'interno del globo (in genere l'*attività vulcanica* nel suo senso più largo), è intrattenuta dal concorso delle emanazioni gasose, provenienti dall'interno, colle acque circolanti che derivano dall'esterno.

554. Ammessa di nuovo la communicazione diretta delle sorgenti minerali colle emanazioni gasose dall'interno del globo, può considerarsi come

elemento importante l'elevazione di esse sorgenti. Per me saran sempre una meraviglia le sorgenti di Tarasp, così ricche di sostanze minerali, la sorgente di San Moritz, che tutta ribolle di gas acido carbonico, tutte sgorganti nella regione più elevata d'Europa. Esse mi dicono che nessuna parte, per quanto elevata, del globo può essere sottratta all'influenza dell'attività chimica interna.

555. Quanto alla distribuzione geografica, ripeto delle minerali quanto ho già detto delle termali. È studio da fare. Intanto si deve ritenere, che l'abbondanza delle sorgenti minerali è altra delle caratteristiche dei distretti vulcanici.

Ho detto che bisogna tener conto delle roccie da cui escono le sorgenti termali; più, della serie geologica, che dovrebbero, per avventura, attraversare a fin di giungere al loro sbocco. Ciò riesce importantissimo per distinguere quanto v'ha di più accidentale, cioè gli effetti di semplice contatto coll'ambiente, da ciò che v'ha di più sostanziale, cioè gli effetti della interna attività del globo. Se la roccia, da cui sbuca la sorgente, se l'intero gruppo delle formazioni costituenti un distretto, una regione, non mi danno spiegazione di certe proprietà della sorgente; sarà pur necessario ch'io la cerchi altrove: e, per quanto possa ritenere lungo e vizioso il corso sotterraneo della sorgente, non potrò a meno, in molti casi, di ammettere l'immediata influenza della attività vulcanica. È sotto questo punto di vista che noi riparleremo delle sorgenti termo-minerali, noverandole fra le secondarie manifestazioni del vulcanismo.

556. Potrebbe qui taluno cercarmi la spiegazione di un fatto, che si verifica sovente; del trovarsi, cioè, nello stesso luogo, a breve distanza l'una dall'altra, sorgenti minerali dotate di proprietà affatto diverse. Ciò non devo far nessuna meraviglia a chi abbia appena un'idea della circolazione sotterranea delle acque. Abbiamo veduto che fenomeno volgarissimo è la sovrapposizione delle zone acquifere. È naturalissimo che ciascuna zona a diversa profondità, dotata di temperatura speciale, in ispeciali condizioni di ambiente, si mineralizzi anche diversamente. Supponete ora una serie di strati con diverse zone acquifere, rotta improvvisamente da una profonda spaccatura, normale al piano degli stessi strati. Entro la spaccatura, che può essere una valle, ciascuna zona darà origine ad una sorgente, e le sorgenti potranno trovarsi separate soltanto da un intervallo corrispondente a quel poco spessore che basta per determinare due zone acquifere distinte. I pozzi artesiani non mancano anche qui di prestare alla teoria il suffragio della pratica, ed è ancora alla *Guide du sondeur* che ne andiamo debitori. Nella valle di Hombourg (Assia) sette pozzi vennero scavati, e il risultato fu la scoperta di otto sorgenti termo-minerali a diversa profondità, e do-

tate ciascuna di proprietà diverse. Eccovi nei quattro pozzi, ordinati nello specchio seguente, un saggio di idrografia sotterranea interessante sotto tutti i rapporti:

Pozzo alla profondità di	19	piedi	Acqua dolce	
» »	133	»	» salmastra	termale.
» »	206	»	» ferruginosa	termale.
» »	384	»	» solforosa	termale.

557. In ultimo, la mineralizzazione delle sorgenti, avvenendo nell'interno del globo, e consistendo non soltanto nella associazione di sostanze diverse alle acque circolanti, ma anche, e forse più, nell'acquisizione di diverse proprietà, con incremento di attività per parte delle acque stesse; la circolazione sotterranea delle acque diventa un elemento geologico di sempre maggiore importanza. Erosioni meccaniche, erosioni chimiche, riempimenti, sostituzioni, trasformazioni, ecc., quanti fatti geologici non possono ripetersi dalla circolazione delle acque! quanto riesce interessante un tale elemento per le teoriche del metamorfismo, dei filoni, ecc.!

558. Termino con alcuni corollari dedotti dal complesso dei fatti esposti circa le sorgenti minerali.

1.° Le acque, circolando nell'interno del globo, possono mineralizzarsi in vari modi, acquistando delle proprietà e, sopratutto, una attività chimica, suscettiva della produzione de' più svariati effetti nell'interno del globo.

2.° L'alta temperatura delle acque a grandi profondità è tra le condizioni e le cause principali di tale attività.

3.° I gas, che si sprigionano naturalmente dall'interno del globo, associandosi all'acqua, agiscono come solventi: l'azione di tali solventi è pure accresciuta dalla temperatura e dalla tensione che sopportano nelle profondità terrestri.

4.° I principali gas, che fanno l'ufficio di solventi, sono il gas acido carbonico e l'idrogeno solforato. Il primo principalmente è segnalato per la sua attività; decompone le roccie più dure, specialmente le feldspatiche; rende solubile l'ossido di ferro nell'acqua; accresce la solubilità dei carbonati di calce, di ferro, di manganese, ecc.

5.° Le sostanze, di cui si carica l'acqua, sono da lei sciolte direttamente o per mezzo di solventi. Altre però possono ritenersi come prodotti immediati dell'attività vulcanica, abbandonati alle acque circolanti.

6.° Le sorgenti, perdendo la facoltà solvente, divengono incrostanti. Questo o si verifica all'esterno, ed avremo diversi prodotti di incrostazione; o ha luogo nell'interno, e vi si produrranno ammassi, vene, filoni di minerali diversi.

CAPITOLO IV.

LE SORGENTI COME AGENTI COMPENSATORI NELLA CREAZIONE DI NUOVI DEPOSITI.

559. L'ultimo corollario, col quale si chiude il capitolo precedente, ci rivela d'un tratto una parte importantissima dell'economia tellurica affidata alle acque circolanti. Le acque interne creano de' nuovi depositi, da sostituirsi a quelli che di continuo le esterne vanno distruggendo. Qui cominciamo a conoscere una parte di quel mirabile magistero di compensazione, per cui la natura, col perpetuo antagonismo tra le forze esterne ed interne, intente a guastare, a distruggere, perpetuamente ripara e conserva.

560. Abbiamo visto infatti come tutti gli effetti immediati degli agenti esterni, atmosfera, fiumi, mari, ghiacciai si traducono quasi colla parola *degradazione de' continenti*. Abbiam già trovato dei compensi negli stessi agenti degradatori, e più ancora negli animali marini. Nessun agente però ci si presentò finora, che valga a impedire l'esito finale, a impedire che le terre non scompajano finalmente in seno alle acque. Quest'ufficio è affidato alle forze esogene, e le sorgenti, tutte dalle più superficiali alle più profonde, cominciano a soddisfarvi per ciò che loro spetta.

561. L'acqua ha, per sua natura, la virtù di sciogliere certe sostanze. Questa virtù le è accresciuta da diversi solventi. Già l'acqua piovana ne contiene uno, che si può dire il più potente, e il più universale: il gas acido carbonico, di cui toglie una certa porzione all'atmosfera, poscia alla vegetazione. Ne sono ricche le sorgenti che sgorgano di sotterra; la quantità di gas contenuto è talora enorme. Quella, p. es., della solfatara presso Tivoli ne contiene tal copia che, dove esso sprigionasi, ha l'aspetto dell'acqua bollente. Davy, pigliando di quell'acqua dov'era già affatto tranquilla, e dopo averla inoltre agitata, trovò che conteneva ancora una quantità di gas maggiore del suo volume. Ma le acque non possono a lungo mantenere gli elementi così disciolti, per la doppia legge della evapora-

zione, a cui soggiacciono continuamente all'aria aperta, e dello sprigionamento del gas. Finchè una sorgente è incanalata nel suo condotto sotterraneo, esercita sul gas, che tiene disciolto, una certa pressione, che può fare equilibrio alla sua tensione; ma appena l'acqua si espande libera sul terreno, questo eccesso di pressione cessa e il gas si sprigiona. Sprigionandosi il gas, manca in proporzione la virtù solvente e il solido disciolto è dall'acqua abbandonato. Dove allo sprigionamento dei gas si aggiunge in massimo grado l'evaporazione, come appunto deve aver luogo sotto il sole de'tropici, il fenomeno deve attingere il suo massimo di celerità e di potenza. Si cita infatti come esempio meraviglioso il *Roaring-fluss*, o fiume muggente, sulle coste settentrionali della Giammaica. È una corrente estremamente ricca di bicarbonato di calce. Alla attività del sole si aggiunge, per facilitare l'evaporazione, una cascata. Vedesi allora la corrente gettarsi attraverso una boscaglia, ove i virgulti e i tronchi sono in breve impietriti, o meglio incrostati. La deposizione del carbonato di calce è tanto rapida, che la corrente improvvisa a sè stessa scogli, argini e dighe, ed è costretta a mutare continuamente di corso, per sorpassare gli inciampi che ella stessa si frappone per via.

562. Qualche cosa di somigliante ha luogo per effetto delle sorgenti dell'antica Hieropoli, già descritte da Strabone, scorrenti ora sull'altipiano detto Panbouk-Kelessi, ossia *castello del cotone*, per l'aspetto soffice e bianco dei tufi ivi deposti. A chi giunge a Smirne si affaccia un'immensa cataratta, alta 100 metri, e larga 4 chilometri. Essa è la fronte di un enorme deposito calcareo che le acque alzano, strato sopra strato, precipitando, come fanno ancora, divise in parecchie cascate dal labbro dell' altipiano [1].

Così, per effetto delle sorgenti incrostanti, si formano ora delle masse rocciose, simili per natura e potenza, a quelle che costituiscono una porzione non indifferente della crosta del globo.

563. Il deporsi del carbonato di calce, o d' altri minerali incrostanti è, per sè, un fatto semplicissimo; ma dà luogo, secondo le circostanze, a mille diversi accidenti, i quali si possono tuttavia ridurre a tre:

1.° Le molecole non fanno che addossarsi semplicemente, e formano un deposito a sè: chiamiamo questo fenomeno *stalagmitizzazione*.

2.° Le molecole si addossano ad altri corpi in cui accidentalmente si imbattono, e vi aderiscono: *incrostazione*.

3.° Le molecole penetrano le roccie disgregate, riunendole in un sol pezzo: *cementazione*.

---

[1] Reclus, *La terre*, I, pag. 332.

564. Fenomeno del primo ordine sono le stalattiti e le stalagmiti. Suppongasi la volta di una caverna a cui si addossino roccie calcaree, coperte da vegetazione, che dia all'acqua d'infiltrazione il necessario gas acido carbonico. Una prima goccia, che trasudi da essa vôlta, vi aderisce per un certo tempo, tanto che basti perchè svapori alla superficie. Alla superficie stessa si formerà una crosta esilissima, una pellicola invisibile, che chiude la goccia quasi entro un borsellino. Ma la goccia, ingrossata, cade, rompendo il proprio involucro, di cui non resta che una porzione, aderente alla vôlta, in forma di anello irregolarmente dentato, come dev'essere quello che risulta da una pellicola emisferica sfondata da un corpo cadente. Alla prima goccia succede una seconda; e, quindi, al primo un secondo anello, e via via, finchè dalla sovrapposizione di tanti anelli risulti un tubo. È questa la forma che presenta la stalattite nel primo periodo di sua formazione: quella di un tubo, grosso come il cannoncello di una penna d'oca, terminato inferiormente da una esilissima frangia. Ma nel mentre la stalattite si allunga, la parte già formata è di continuo madefatta, e quindi (sempre per effetto della evaporazione) più e più si ingrossa. Ne risulterà necessariamente un cono rovesciato, appunto la forma ordinaria delle stalattiti. La forma d'un cono, riposante sopra la sua base, sarà al contrario quella della *stalagmite* creata invece, sul suolo della caverna, dalle goccie stesse che cadono dalle stalattiti, e di cui continua l'evaporazione. Il cono stalattitico discendendo verso il suolo e lo stalagmitico ascendendo verso la vôlta, avverrà che alfine si tocchino coi vertici opposti, e si fondano in uno; ed ecco l'origine di quelle *colonne* o *pilastri*, che formano uno dei più pittoreschi accidenti delle caverne.

565. Fin qui delle forme ordinarie; ma si pensi a quanti accidenti può essere sottomesso lo stillicidio, per effetto di adesione e di capillarità. Quindi le forme più bizzarre e fantastiche. Vi sarà occorso, p. es., di osservare come una goccia, aderendo ad una superficie che presenti un piano inclinato, vi scorra, segnando una striscia più o men tortuosa. Nel nostro caso la striscia è segnata da una incrostazione, che a poco a poco forma un lembo sagliente, che si accresce e si allunga. Ecco l'origine delle magnifiche *stalattiti panniformi*. Un bellissimo esempio ne vidi nella grotta del Corno sopra Entratico. Una specie di padiglione o di ricca cortina raccolta cade entro un antro appartato dell'altezza di 7 ad 8 metri, e si diffonde con morbidissimo strascico sul suolo.

566. Compreso il processo della stalagmitizzazione, si comprende del pari come le stalattiti e le stalagmiti si presentino composte di strati concentrici. Ma la lentezza della evaporazione può lasciar tempo d'agire alla forza chimica, per cui le molecole si dispongano reciprocamente in un dato

modo, cioè si cristallizzino. La forma radiata, così ordinaria nelle stalattiti calcaree e negli alabastri, è puro effetto di cristallizzazione.

Se le stalattiti e le stalagmiti continuano ad accrescersi, viene un punto in cui la cavità, entro la quale si formano, può essere riempita intieramente. Si trasforma allora in una cava di *alabastro*. L'origine dell'alabastro spiega, senz'altro, quella sua vaghissima struttura a zone concentriche, ondulate, in mille modi accidentate.

567. I minerali diversi, che possono entrare accidentalmente nella sua composizione, dan ragione delle sue tinte variegate. In generale l'alabastro è translucido, e vi domina una tinta bionda, color miele. L'*alabastro orientale*, celeberrimo presso l'antichità, e che si scava ancora attualmente nell'Egitto, varia dal bianco al giallo di miele, da questo al rosso d'aurora, o al bruno chiaro.

568. Spesso l'acqua incrostante investe corpi stranieri e, di qualunque natura essi siano, li ricopre di uno strato solido, ossia di una crosta (*incrostazione*). Un caso molto ordinario è quello delle sorgenti incrostanti che bagnano o spruzzano i vegetali, principalmente i muschi che ne rivestono le sponde. È questa la principale origine dei *tufi calcarei*, porosi e leggeri, utilmente impiegati come materiali di costruzione, e di cui si formano depositi così considerevoli. I *travertini*, così sviluppati nell'Italia centrale e meridionale, ove attingono talora considerevole spessore, non sono che tufi derivati dalla materia abbandonata dalle sorgenti e dalle correnti dell'Appennino, cariche di carbonato calcare. O incrostando vegetali e conchiglie, o rivestendo semplicemente il terreno con un deposito precipitato rapidamente e irregolarmente, formano poderosi strati. L'antica e la moderna Roma, il Colosseo e San Pietro ne sono fabbricati. È il travertino, che dà ai monumenti romani quell'aria solenne di antichità.

Il travertino, formato entro i dominî del mare, si chiama *panchina*. Depositi di travertino e di panchina si trovano quasi ovunque sulle sponde del Mediterraneo.

569. Le *pisoliti* non sono che prodotti di incrostazione. Suppongasi un corpo qualunque, capace di essere facilmente smosso, rotolato, spinto con moto alterno in alto e in basso, rotando come il guscio d'uovo sopra un zampillo artificiale, da una sorgente che bolle continuamente per lo sviluppo di gas acido carbonico. Le sostanze, precipitate in conseguenza dello svolgimento del gas, devono rivestire, strato sopra strato, questo corpo fluttuante, che si ingrosserà sotto forma di sfera o di sferoide, più o meno regolare, a guisa di confetto. Il nucleo di tali confetti può essere di qualunque sostanza. D'ordinario è un granello di sabbia o d'un minerale qualunque; può tenerne le veci, per esempio, un bricciolo di conchiglia, e nei

laghi del Messico furono osservate le pisoliti in sterminata copia, aventi per nucleo ciascuna un uovo di emiptero. In certi seni riposti e tranquilli sotto i tropici, esposti all'afflusso d'acque incrostanti, al lieve agitarsi del fondo sabbioso, i grani di sabbia sono rotolati e tenuti alcun tempo in sospensione. Sono essi così di botto intonacati, per effetto della rapida evaporazione, e danno origine a potenti depositi pisolitici. È naturale che le pisoliti continueranno il loro moto, e quindi il loro ingrossamento, in proporzione della forza che li tiene sospese. Verrà un punto in cui tutte andranno al fondo, dove saranno riunite da un cemento commune della stessa loro natura, e formeranno un banco pisolitico.

570. Presso le ruine dell'antica Pesto, a sud di Napoli, che constano pur esse di travertino (*Lapis tiburtina*), trovasi una sorgente che dà origine ad un piccolo lago. Le acque di quel lago bollono sì, per lo sprigionarsi del gas acido carbonico, che favoleggiarono gli antichi quel lago cuocere le isole, che poi galleggiavano sulla sua superficie. Le isole invero altro non sono che piante acquatiche, sradicate e incrostate di tufo.

571. Celebri sono poi in Italia le cascate del Velino a Terni, a cui sottopongonsi oggetti d'ogni sorta, canestri, nidi d'uccelli, ecc., che vengono con straordinaria rapidità incrostati. Forse più celebre è quella dell'Anio, detto anche Teverone, a Tivoli, specialmente per le ricche ed antichissime cave di travertino. Le sue acque, ricchissime di bicarbonato di calce, si gettano in un vero abisso, formando la famosa cascata di Tivoli. Quell'abisso mette a nudo una parete calcarea, dell'altezza di 120 metri; massa di travertino veramente enorme, prodotta dalla attività incrostante di quelle acque. Il deposito è irregolarmente stratificato, e vi si fanno rimarcare letti di pisoliti, ed enormi concrezioni sferoidali del diametro di $1^m, 80$ a 2^m, formate di strati concentrici. Circa 4 metri dello spaccato di quel deposito ci vennero delineate da Lyell [1]. Ad alcuni letti di semplice travertino è sottoposto un letto di pisoliti, cui soggiace un grosso banco di sferoidi giganteschi, sopportato alla sua volta da un nuovo letto di pisoliti. Lo spessore totale dei depositi sarebbe almeno di 160 metri, e della rapidità, con cui crebbero, darebbe misura una ruota romana improntata nel travertino a 9 metri di profondità.

572. La sorgente incrostante di San Vignone in Toscana offre un esempio molto istruttivo di stratificazione, inclinata per semplice effetto di incrostazione. La collina di San Vignone è formata di argille schistose con serpentine. Una gran massa di travertino riveste il colle, partendo dalla sommità, fino a mezzo miglio di distanza verso est. Un'altra massa di-

[1] *Principes*, II, pag. 127, fig. 19.

scende ad ovest. Questa è veramente imponente, vantando uno spessore di 60 metri; è inclinata come la collina, e termina bruscamente sulla sponda del torrentello Orcia. È chiaro che quella massa si sarebbe dilatata, chi sa fino a quale distanza, se non fosse stata continuamente interrotta dal fiumicello, che seco travolge l' acqua incrostante e arresta in pari tempo l'incrostazione.

573. Un esempio analogo a quello di San Vignone ho potuto recentemente studiare io stesso a Tocco, grosso borgo, che si incontra sulla via da Pescara ad Aquila nell'Abruzzo Citeriore. Tocco è situato sopra una specie di altipiano, dell'estensione di 4 a 6 miglia quadrate, che dipende dal monte Orso, di cui forma una specie di sperone, limitato dal fiume Pescara e da due piccoli confluenti. Quell'altipiano si tronca quasi ovunque bruscamente all'ingiro, formando una parete, spesso verticale, che discende fino al letto de' rispettivi fiumi, precisamente come vedemmo il deposito di San Vignone discendere nell' Orcia. Anche l'altipiano di Tocco è coperto infatti da un enorme deposito di travertino che, visto dalla parte di sud, può avere almeno 40 metri di spessore, presentando poi ovunque una serie di caverne, di forme stalagmitiche, ecc. La massa di travertino, che va assottigliandosi da valle a monte, ricopre la potente serie delle argille mioceniche che, fortemente inclinate, ora in un senso ora in un altro, stanno in massima al travertino come le roccie sottoposte al deposito di San Vignone. Evidentemente quel deposito è formato da sorgenti incrostanti, che, scorrendo sul pendio originariamente presentato dalle roccie mioceniche, vi deposero il travertino a strati a strati, che dovevano troncarsi bruscamente, siccome a San Vignone, quando toccavano i limiti delle correnti. Ciò che presenta di più singolare quel deposito e di maggiore interesse per la geologia si è l' alternanza di strati di travertino con letti di bitume solido. Bisogna sapere che, precisamente ai limiti superiori dell' altipiano, sgorgano sorgenti abbondantissime di petrolio piceo. Evidentemente, mentre deponevasi il travertino, sgorgava di tratto in tratto, come avviene anche al presente, il petrolio, e dilagavasi sul pendio dell'altipiano, stagnava nelle irregolarità, e passava, indurendosi, allo stato di bitume, che veniva successivamente ricoperto da uno strato di travertino.

574. Le terme di San Filippo in Toscana sono celebri per la bellezza dei modelli, che si ricavano dalla loro incrostazione, la quale riporta i tratti più squisiti di qualunque medaglia o bassorilievo. Quella sostanza bianca, marmorea, compatta, è un deposito di selce con solfato e bicarbonato di calce e solfato di magnesia. Nella vasca, dove si raccoglie l'acqua in servizio dei bagni, formossi in 20 anni uno strato dello spessore di 9 metri. In

quattro mesi quelle acque producono tre decimi di pietra dura; quasi un metro ogni anno.

575. Famosissime sono le terme di Carlsbad. Copiosa e caldissima è la sorgente che, pregna di carbonato di calce e d'ossido di ferro, sbocca, gorgogliando e fumando, tra il porfido e il granito, e scorre sopra una gran volta calcarea, potente di molti metri, da essa stessa formata. La città è in gran parte edificata sopra i suoi depositi. Fiori, frutti, animali, tutto è in 7 od 8 giorni coperto d'uno strato liscio, resistente, bruno per l'effetto dell'ossido di ferro. I depositi si formano a strati regolarissimi, e la roccia che ne risulta è suscettiva di bella levigatura. Gran parte di essa consta di una massa di pisoliti, insieme cementati, talora della grossezza di una ciliegia, e di una sfericità perfetta. Ordinariamente un granello di quarzo ne forma il nucleo.

576. Tutti gli esempî citati (e potremmo continuar senza fine a citarne) servono a farci toccar con mano l'importanza di questo magistero di compensazione, per cui le acque incrostanti vanno riparando con tanto esito le perdite, che le terre subiscono per ogni maniera di erosione. Quando si consideri, che le sorgenti incrostanti (arguendo dal poco che si conosce il molto che s'ignora) sono sparse a migliaja in tutte le regioni del globo, e che una sola può coprire aree vastissime d'una massa lapidea di centinaja di metri di spessore; non si può negare a questo agente un valore geologico considerevolissimo. Non si creda poi che il materiale dei depositi delle sorgenti incrostanti si limiti al carbonato di calce, colle sue varietà. Abbiamo veduto quanta varietà di sostanze fisse rivelino le analisi dello sorgenti minerali (§ 550). Ognuna di quelle sostanze può creare un deposito. Benchè il carbonato di calce, più o meno misto ad altri principî, sia di lunga mano il più frequente tra i depositi delle sorgenti e delle acque filtranti nelle cavità; potremmo citare i vasti depositi silicei formati dalle sorgenti delle Azzore, dai *geyser* d'Islanda, dalle cataratte bollenti della nuova Zelanda; potremmo raccogliere esempî di depositi di gesso, di solfo, ecc. Ma noi dovremo ritornare sull'argomento, o considerare i fenomeni, che ora ci occupano, sotto altri punti di vista. Le citate sorgenti silicifere, p. es., ci ricompariranno tra le manifestazioni vulcaniche, e dei minerali prodotti per via acquea discorreremo lungamente, quando si tratterà di mettere in luce l'attività creatrice esercitata dall'acqua in tutte le epoche del globo, tanto alla superficie quanto nell'interno.

577. Ci resta però a parlare della cementazione. Questa è destinata a trasformare depositi incoerenti in banchi concreti di dura roccia. In questo

senso l'azione degli stillicidi e delle sorgenti è ancora più importante. Il fenomeno tuttavia è identico a quello dell'incrostazione. Come il carbonato di calce, e gli altri minerali incrostano vegetali o conchiglie, e riempiono di stalagmiti e di alabastri i fessi e le caverne; così le stesse sostanze investono le sabbie, le ghiaje e i ciottoli, e riempiono i vacui tra grano e grano, tra ciottolo e ciottolo. Il di più si è che i ciottoli, le ghiaje, le sabbie, così cementate, aderiscono in modo da formare un tutto compatto, un'arenaria, una puddinga, una breccia, un conglomerato. In questo modo possono essere solidificati i letti dei torrenti e i depositi incoerenti del mare, gli strati alluvionali, ecc. Da questa cementazione ha origine, p. es., il fenomeno grandioso della formazione del *ceppo* (*béton* dei Francesi). Sprofondandoci in qualunque luogo sotto il suolo mobile, avviene di trovare ordinariamente che, ad una certa profondità, il suolo senza cambiare propriamente natura, è reso duro e coerente, cioè convertito in *ceppo*. Questo ceppo è talora così coerente, che può impiegarsi benissimo come materiale di costruzione. Come avviene questo? Che il carbonato di calce, sciolto dalle sorgenti o dalle acque piovane, si depositi, in seguito alla evaporazione od allo sprigionamento del gas, in una caverna piuttosto che nei meati di un ammasso di ghiaja, non è lo stesso? Il fenomeno si osserva singolarmente nei distretti calcarei. È naturale; l'acqua ha bisogno di scorrere prima sopra roccie calcaree, per impadronirsi del carbonato e deporlo in seguito. Perchè il ceppo si forma soltanto ad una certa profondità? Anche questo è chiaro. La parte superiore del terreno è soggetta piuttosto a subire l'azione solvente che depositante. D'altronde le influenze atmosferiche si fanno sentire sino ad una certa profondità, e tendono piuttosto a scomporre il terreno che a ricomporlo. Ad una certa profondità soltanto cessa l'influsso atmosferico, l'acqua evapora, e tranquillamente depone il suo cemento.

Analoga al *ceppo* è la breccia che si va formando nell'isola di S. Michele (Azzore), ricca di sorgenti silicee. Quella breccia non è infatti che una roccia composta di tufi vulcanici, di frammenti di obsidiana (vetro vulcanico) cementati dal *sinter*, ossia da quel deposito siliceo, di cui già dicemmo.

578. Le sorgenti e i fiumi ricchi di elementi incrostanti non possono al certo spogliarsene affatto lungo il loro corso, e debbono quindi facilmente riuscirne ancor carichi al mare, e continuarvi il processo della cementazione. Anzi allo sbocco di tali fiumi il processo in discorso deve essere più rapido e più esteso per la ragione che l'acqua dolce, galleggiando sulla salsa, si assottiglia, e si dilata, quasi sopra levigatissimo piano, offrendo una vasta superficie d'evaporazione. I grandi depositi,

p. es., formati dal Rodano alla sua foce, invece di essere incoerenti, come lo sono d'ordinario quelli degli altri fiumi, si convertono in una roccia durissima, in una specie di calcare cristallino o arenaceo, zeppo di conchiglie: una vera lumachella di specie viventi, e di formazione attuale. Nel Mediterraneo si versano molti altri fiumi incrostanti che, come vanno a formarvi delle *panchine*, così debbono cementarvi le ghiaje e le arene, e trasformarli in letti di puddinga e di *grès*.

CAPITOLO V.

I VULCANI NELLE LORO FASI.

579. La circolazione sotterranea delle acque venne considerata come un gran mezzo di relazione perpetua e universale tra l'interno e l'esterno del globo. In questo circolo senza fine delle acque sta certamente il segreto di una gran parte dell'attività interna del globo, e forse la prima delle necessarie condizioni di essa. Le acque, che ritornano calde e mineralizzate, già ci sollevano un lembo del velo che cela l'interno magistero della vita del globo. Ma questa vita si traduce pure al di fuori, per una serie copiosa di altre manifestazioni, il cui complesso siamo convenuti di indicare colla parola *vulcanismo*. La parola è giustificata principalmente dal fatto, che tutte le manifestazioni secondarie, distinte, isolate, individualizzate sovra un numero infinito di punti della superficie del globo, si trovano realmente associate e fuse in un vulcano. Si direbbe, che tutti quei fenomeni (emanazioni gasose, vulcani di fango, petrolî, ecc.) non sono che parziali manifestazioni di una forza, la quale, nella sua pienezza o integrità, agisce in un vulcano, o manifestazioni di diverse forze distinte, che concorrono insieme per produrre un vulcano. Cominciando dunque da questa manifestazione primaria, sintetica del vulcanismo, o, trovatene le ragioni, ci saremo spianata la via ad approfondire le altre, e risparmiata in gran parte la fatica di cercare le ragioni di ciascuna.

580. Intanto preveniamo il lettore, che non daremo a questa parte della dinamica terrestre uno sviluppo pari a quello che abbiam dato all' altra; studieremo anzi la via più corta, cercando però di porgere un' idea sufficiente dei diversi fenomeni, e di scoprirne le ragioni più immediate. Trattandosi di fenomeni, che hanno le loro ragioni nell'interno del globo, che si sottraggono alla esperienza e alla osservazione immediata, sentiamo maggiore il bisogno di aggiungere alle manifestazioni attuali, i fatti geologici che tradiscono l'azione delle stesse cause in passato. Molti fatti presenti non acquistano il loro valore che dal confronto immediato coi fatti geo-

logici: molte questioni pertanto non potrebbero venir qui discusse che assai incompletamente. Quando poi fossimo ad applicare le dednzioni, cavate dalla dinamica terrestre, alla geologia endografica, trattandosi di cose molto oscure e ancora molto discntibili, non basterebbero dei semplici richiami, e ci vedremmo condotti dalla necessità a ripetere assai del già detto. Tutto calcolato, abbiamo creduto, ripeto, di limitarci qui ai fatti più generali e alle deduzioni più immediate, riserbando alla geologia endografica le specialità e sopratutto le grandi questioni, che riguardano lo stato e l' attività interna del globo.

581. Un vulcano si può definire: « una cavità che mette in communicazione l' interno coll' esterno del globo resa manifesta dalla emissione di sostanze solide, incandescenti ». I fenomeni vulcanici propriamente detti si distingnono per due caratteri principali: 1.° l' eruzione di sostanze solide, ad altissima temperatura; 2.° l' intermittenza a lnnghi periodi. Si distinguono però ancor meglio per quello straordinario complesso di fenomeni, per cni i vulcani riassumono tutte le manifestazioni vulcaniche, e costituiscono per ciò appunto la più perfetta manifestazione della interna attività della terra.

582. Caratteristica dei monti ignivomi è la forma a cono troncato. Talvolta i coni sono più d' uno od anche sono molti aggruppati. L' Etna, p. es., ne conta almeno 80. Ma generalmente tutti qnei coni costitniscono infine nna gran massa conica.

583. Alle troncatnre del cono corrisponde il cratere. È una specie di bacino, una caldaia, più o meno vasta, più o meno profonda, dove si manifesta, come in sua sede, l' attività del vulcano, specialmente nei lunghi periodi di tranqnillità o di simulato riposo. Il più gran cratere conosciuto è quello del Gunnng-Tengger (isola di Giava), il cui diametro è di 20,000 piedi (6498 m. circa); il suo perimetro sarebbe adnnque di oltre 19 kilometri[1]. È nna specie di mare sabbioso, donde si levano lave scorificate, profondo da 300 m. a 500 m. sotto il pnnto culminante del recinto. Il cratere del Gunung-Roa non ha che la metà del diametro proprio dell' antecedente; ma è un baratro profondo da 700 m. a 800 m.

584. Forma tntt'altro che eccezionale pei vulcani è quella d'un cono, che sembra incassato in nn altro, la cui troncatura sia considerevolmente più vasta. Tali si presentano il Vesuvio per rapporto al monte Somma, e il Picco di Teneriffa per rapporto alla sua cintura.

---

[1] Dollfus e De Mont Serrat calcolano come ancor più vasto il cratere del Conseguina, a cui l' eruzione del 1835 avrebbe lasciato 20 chilometri di circonferenza. Non fu però misurato direttamente (*Mission scientifique au Mexique*, Paris 1869).

585. I vulcani figurano in pari tempo e tra le minori eminenze e tra le vette più sublimi. Non raggiungono nemmeno il livello del mare, come è il caso dei vulcani sottomarini, ma anche sovrastano alle maggiori altezze del globo. La loro ampiezza non è in proporzione determinata coll' altezza, per la ragione che i coni vulcanici diversificano assai fra loro pel valore del pendio. La circonferenza dell' Etna alla base, p. es., si calcola di 144 chilometri, e l'area occupata si fa ascendere a 14 miriametri quadrati. Il vulcano dell' isola Cosima, nel Giappone, si eleva soli 700 piedi, mentre l' Etna arde a 10,200 e l'Aconcagua nel Chilì a 21,584.

586. Abbiamo detto che l'intermittenza è uno dei caratteri principali di un vulcano. Dalle più violenti eruzioni il vulcano può passare gradatamente alla totale estinzione. Un vulcano adunque presenta diverse fasi e, benchè il passaggio dall'una all'altra sia ordinariamente così graduato da non potersi distinguere in periodi ben definiti, tuttavia, per la produzione o scomparsa di alcuni fenomeni più saglienti, possiamo distinguerne quattro, non fosse altro che per facilitare, coi sussidi del metodo, l' analisi di un fenomeno così multiforme. Distinguiamo adunque le seguenti quattro fasi della attività di un vulcano: 1.° *fase di esplosione*, o *pliniana;* 2.° *di dejezione*, o *stromboliana;* 3.° *di semplice emanazione*, o *di solfatara;* 4.° *di estinzione.*

587. Ho detto che d'ordinario il vulcano è intermittente. Suppongo adunque che si ridesti dopo lungo riposo, il che avviene di solito improvvisamente e con particolare violenza. La parte principale in quei tremendi parossismi è rappresentata dai vapori e dai gas a grande tensione, per cui si può dire che l'eruzione nella prima fase è una vera esplosione: e questa precede la dejezione delle lave, e tutti i fenomeni più ordinarî che costituiscono un vulcano.

588. Plinio il giovine è il primo (potrebbe dirsi l'unico) che ci presenta scolpita a tratti brevi, ma netti e incisivi, questa fase, in ciò che ha di più appariscente, di più caratteristico, e a un tempo di più importante per la scienza. Nella sua celebre lettera a Tacito, così gli dipinge la prima eruzione storica del Vesuvio, avvenuta nel settembre dell'anno 79 dell'êra volgare, quale si presentava vista dal Capo Miseno. « Sorgeva, scrive Plinio, una nube, la quale per la forma e l'aspetto, non potrebbe che paragonarsi a un albero, e tra questi per eccellenza a un pino. Essa infatti, rizzata in alto, quasi retta da lunghissimo tronco, si diffondeva in rami diversi[1]. » Nel seguito della lettera poi si descrivono e le grandini di

[1] « Nubes oriebatur, cujus similitudinem et formam non alia magis arbor, quam pinus expresserit. Nam, longissimo veluti trunco elata in altum, quibusdam ramis diffuadebatur. »

pietre, e i turbini di cenere, e l'oscurità profonda, in fine ciò che lo scoppio di un vulcano ha di più caratteristico. Noi crediamo dunque di segnare con un epiteto molto sintetico questa prima fase, chiamandola *fase pliniana*.

589. Volendo ora analizzarla ne' suoi particolari, non credo di potere incominciar meglio, che compendiando la storia di una delle più famose eru-

Fig. 49. Eruzione del Vesuvio, visto da Napoli, nell'ottobre del 1822.

zioni del Vesuvio, di cui diligentissimi scrittori ci conservarono i più minuti particolari. Parlo della eruzione del 1631. Tra quante descrizioni di eruzioni vulcaniche mi avvenne di leggere, parvemi che questa fosse la più caratteristica, la più completa, come quella che ci presenta su grande

scala, non solo i fenomeni ordinarî, ma anche i più eccezionali. Del resto, letta una descrizione qualsiasi di una vulcanica eruzione, voi le avete lette tutte; tanto in ciascuna eruzione si ripetono esattamente gli stessi fenomeni, salvo alcuni particolari, dei quali non mancheremo di renderci ragione successivamente.

590. Dal 1500 al 1631 il Vesuvio era rimasto in una calma perfetta: il cratere si era convertito in una foresta. Da sei mesi imperversavano i terremoti, e, alcuni giorni prima dell' eruzione, ululati notturni, rantoli sotterranei, l' acqua venuta meno nei pozzi di Napoli o intorbidata, annunciavano, ordinarî precursori, una prossima eruzione. Si avverò uno sprofondamento di suolo, con uscita di fumo e di igneo splendore, e, fatto più singolare ancora, il fondo del cratere assai depresso, tra gli interni muggiti come di marina tempestosa, levossi in guisa da presentare una eminenza sopra la troncatura del cono. L' esplosione avvenne la sera del 13 dicembre fra terribili scoppî, squarciandosi lateralmente il cono sopra l' Atrio del Cavallo, spalancandosi molte bocche successivamente, e facendo saltare in aria una gran porzione della montagna fra nembi di fumo, e fra un diluvio di pietre, di lapilli e di cenere.

591. La nube, nera di giorno e infuocata di notte, è tale da produrre nel meriggio una perfetta oscurità a grande distanza all'ingiro. Da ogni parte vi guizzano i lampi; i tuoni vi scoppiano incessanti: infine il *pino* [1] si presenta coll'apparato di un vasto temporale da cui diluviano torrenti di pioggia. L' elettricità, che sviluppa un getto di vapore, sprigionandosi dall' orifizio di una caldaja, e meglio ancora quella che si sviluppa, secondo Gay-Lussac, al formarsi di una larga nube, porge ragione più che sufficiente degli indicati fenomeni. Le ceneri e i lapilli cadevano alla Basilicata, a Taranto e fino a Cattaro. Nei dintorni del Vesuvio poi, la cenere caduta attinse fino a 6 m. di spessore. Una pietra slanciata non potè smuoversi da venti buoi e un'altra volò lontano 12 miglia ove appiccò un incendio.

592. Gli scoppi si udivano nella Puglia, negli Abruzzi, nelle Calabrie.

---

[1] La nube che si leva nell' istante che un vulcano erompe, è detto convenzionalmente *pino vulcanico*, in omaggio alla bella similitudine adoperata da Plinio, che gli spettatori delle eruzioni in tutte le regioni del globo trovano così giusta. Ma infine è la forma che piglia ogni getto di vapore a forte tensione, che si sfoghi da un orifizio qualunque nella libera atmosfera. Così vediamo ogni giorno, al giungere in porto di un piroscafo, il vapore sprigionarsi ruggendo dal tubo scaricatore, e rizzarsi compatto, tutto d'un pezzo, della forma stessa del tubo. Ma, giunto a una certa altezza nell'aria, d'improvviso si distende orizzontalmente in globi vorticosi, e presenta abbastanza bene egli stesso, se l'aria è tranquilla, la chioma globosa di un pino, che si distende, a mo' d' ombrello, sopra un tronco cilindrico diritto e asciutto. Lo spettacolo che gli abitanti del golfo veggono ripetersi ad ogni eruzione vesuviana, è qui bene espresso nella figura 49.

Il mare ritirossi da Napoli sino a Castellamare, per ritornarvi con grande impeto. Solo il 17 dicembre cominciò ad erompere la cima del cratere, e contemporaneamente ebbe luogo una emissione potentissima di lava, che, divisa in più rami di più di un miglio di larghezza, con nna velocità di quattro a cinque miglia all'ora, giunse al mare, tutto rovesciando, incendiando, sul suo cammino. Il ramo che distrusse Bosco si spinse in mare 200 m.; 400 m. quello che roviuò Torre del Greco, e più ancora qnello che distrusse Resina e Portici. Ovunque la lava si arrestasse, formava monti di scorie, di sassi e di alberi e mostrava tale attività, per lo sprigionarsi dei gas dal suo interno, che si sarebbe detto esistervi altrettanti crateri vulcanici.

593. Il fenomeno, che stiamo per esporre, sarebbe incredibile se non fosse attestato da tutti gli autori, che ci tramandarono fedelmente i particolari di quella eruzione. Non lo si potendo negare, il fenomeno assume una importanza grandissima. Il 17 dicembre sgorgarono dal cratere enormi torrenti di acque con sabbia, alghe ed altri prodotti mariui. Siccome il cratere era iuvolto nelle nubi, non si saprebbe diro se quell'acqua non fosse, almeno in parte, il prodotto delle pioggie; ma i corpi marini non poterono certamente venir dalle nubi. Il Braccini attesta che il cielo era perfettamente sereno, eccettuato qnello spazio in cui si dilatava la nube eruttiva; nè da questa nube si saprebbe ripetere tant'acqna, che portasse la sua rovina torrenziale 30 miglia all'ingiro del cratere, gonfiandosi in alcuni luoghi fino a 4 m. di altezza. Del resto, sempre a cielo limpidissimo, gli stessi sgorghi di acqua si ripeterono il 13, il 24 e il 31 dicembre. Qnanto ai prodotti marini poi il Braccini narra di aver trovato egli stesso molti molluschi marini nell'Atrio del Cavallo, e che Ignazio Armellini ne trovò più ancora. Altri parlano di pesci, altri di alghe ammassate in gran copia sulla via di Avellino e Atripalta.

594. L'eruzione durò violenta fino al 31 dicembre; decrebbe poi, riducendosi a quello stadio di tranquilla attività (fase stromboliana), che durò ventidue anni. Prima dell'eruzione il cratere sovrastava di 40 m. al monte Somma; finita l'eruzione, gli sottostava 178 m.: l'eruzione lo avea dunque scemato di 218 m. di altezza.

595. Dalla descrizione fatta, la quale sta, come dissi, per quante eruzioni vulcaniche potessero descriversi, risulta il primo fatto importantissimo già enunciato, che a sostanze gasose ed a vapori a grande tensione è da attribuirsi, come a primaria causa, l'esplosione dei vulcani. Ora posso dirvi più determinatamente che l'agente primario, la *causa immediata* della eruzione, è il vapore acqueo.

596. Nelle grandi esplosioni l'enormità del *pino*, e le conseguenti piog-

gie, mostrano a sufficienza, che una gran massa d'acqua, portata allo stato di vapore, ad alta temperatura e sotto grandi pressioni, è quella che produce l'esplosione. Il vulcano, nella sua fase di esplosione, è una caldaia a vapore cho scoppia. Ma il vapore acqueo si mostra primario agente dell'eruzione, anche durante la fase di semplice dejezione. Dei vulcani in eruzione permanente, dello Stromboli, del Masaya, dell'isola Bourbon, del Kilauea e, a tempo opportuno, del Vesuvio e dell'Etna che riportarono gli autori? Sempre l'identica descrizione: un lago di lava in ebollizione, che si gonfia e ricade, quando dal suo seno si svolge un poderoso getto di vapore; di vapore acqueo s'intende misto certamente ad altri vapori e a gas diversi, i quali si rendono tanto più intensi, come vedremo, quanto più diminuisce la foga della eruzione, e quindi la copia del vapore. Ma sta sempre che il vapor acqueo è quello che costituisce la massa principale tanto del *pino* eruttivo, come della più tarda fumaiola.

Del reste Deville analizzò il vapore vulcanico (credo del Vesuvio, benchè Scrope nol dica) e lo trovò composto di acqua in proporzione di 999 per 1000. Il vapore permanente sullo Stromboli vi produce talora leggieri pioggie, e riporta Ress che il vapore dell'Erebo alla Vittoria (72° a 75° di latitudine sud) ricade sotto forma di neve.

597. Ma il vapore si concepisce nel seno della lava stessa, o non fa che attraversarla? La struttura vescicolare delle lave anche più compatte è testimonio dello svolgersi dei vapori acquei dai pori stessi della lava. Del resto qui intendiamo piuttosto di accennare il fatto, che di dimostrarlo. Quando, nella *geologia endografica*, porremo a confronto le lave moderne colle roccie eruttive, ossia colle lave di tutti i tempi, vedremo in quale stato di prodigiosa divisione si trova l'acqua sparsa, quasi immedesimata colle lave, in modo che un millimetro cubico può di leggeri contenerne parecchi milioni di goccie.

598. Or nasce spontaneo il desiderio di conoscere quale sia l'origine dei vapori acquei, o meglio di quell'acqua che, in copia così enorme, viene ad immedesimarsi colle lave nell'interno del globo, per sprigionarsi poi allo stato di vapore, appena sia rotta la parete di quella caldaia, che faceva equilibrio all'immensa tensione. Qui vi richiamo semplicemente due fatti dei quali siete pienamente in grado di apprezzare l'importanza e di valutare le applicazioni: 1.° che la circolazione sotterranea può condurre l'acqua a qualunque profondità; 2.° che la temperatura del globo cresce dall'esterno all'interno con certe leggi proporzionali fisse, per cui, ad una profondità assai mediocre relativamente, tutte le sostanze devono trovarsi a quella temperatura che all'esterno le renderebbe incandescenti. Nessuna meraviglia adunque che l'acqua, o per sotterranei canali, o per

semplice infiltrazione, sia condotta a tale profondità, che risponda a quella qualunque che è fatta supporre dai fenomeni eruttivi. Non farà bisogno del resto di avvertire, come, col crescere della profondità, cresca del pari quella pressione, antagonista del calore, per cui l'acqua può rimanersi perfettamente liquida, fino al calor bianco, ovvero allo stato di vapore compresso, con tensione pari alla temperatura. La pressione di una atmosfera, oltre l'ordinaria, basta perchè l'acqua non bolla che a 117° C., e 20 atmosfere portano il punto di ebollizione a 212° C.

599. Ma come mai si spiegherebbe l'infiltrarsi dell'acqua circolante, anche attraverso una massa incandescente, in guisa da imbeverla interamente, come ne fanno fede le eruzioni vulcaniche? Non pare egli che, giunta l'acqua a contatto di una massa a temperatura incandescente, debba immediatamente risolversi in vapori, e quindi opporsi ad ogni ulteriore infiltrazione? Non dimentichiamo mai, che i fenomeni, prodotti alla superficie terrestre, all'aria aperta, non possono, almeno immediatamente, illuminarci circa i fenomeni, che, nel caso nostro, avvengono a grandi profondità, sotto enormi pressioni, in condizioni affatto anormali per rapporto ai fenomeni ordinari, alla cui produzione noi assistiamo. Premesso questo, vediamo come la scienza sia già in parte riuscita a togliere il velo al mistero.

600. Primieramente non è punto vero che il calore interno si opponga al penetrarvi dell'acqua per capillarità; invece lo favorisce. Daubrée esperimentò la cosa nel modo seguente: preso un disco di grès, dello spessore di due centimetri, ne formò il fondo di un recipiente pieno di acqua, cui sovrappose ad una camera chiusa ermeticamente, profonda tre centimetri, destinata a ricevere il vapore acqueo a qualunque tensione. Un manometro indica la tensione del vapore nella camera. L'acqua del recipiente non può passare nella camera sottoposta, che attraversando il grès. L'apparato è chiuso in una cassa, portata alla temperatura di 160°. Quando la camera è riempita di vapore, si osserva l'acqua del recipiente filtrare attraverso il grès con rapidità molto maggiore di quella con cui avverrebbe la filtrazione nelle condizioni ordinarie. L'acqua stessa che trasuda e si svapora alla superficie inferiore del disco, in luogo di reagire contro l'acqua suvvegnente, sembra invece aspirarla nell'interno della camera. In questo caso adunque l'acqua è spinta dalla regione fredda alla regione calda, attraverso una massa porosa, per virtù del calorico o del vapore che agisce internamente. La cosa appare tanto più luminosa quando, invertendo l'esperimento, ponendo cioè l'acqua nella camera a vapore e riscaldando l'apparato, il vapore che si concepisce nell'interno della camera, benchè alla tensione di parecchie atmosfere, non dà segno di sfug-

gire attraverso il disco di grès, per espandersi nell' atmosfera. Da tali esperimenti si derivano le segnenti leggi: 1° il vapore, anche a forte tensione, in un ambiente qualunque, non vi impedisce l'afflusso dell'acqua per capillarità; 2.° La filtrazione dell' acqua attraverso una massa porosa avviene con maggiore rapidità, quando abbia luogo da un ambiente freddo ad un ambiente caldo. In altre parole, l'acqua si infiltra dall'esterno all'interno, attraverso una massa porosa, quando essa massa sia internamente riscaldata, assai meglio che quando tale condizione non si verifica.

601. Tali leggi sono troppo capitali, per non meritare di essere poste in piena evidenza con altri fatti, che io cito testnalmente da Vézian [1]. « Devo alla gentilezza del signor Minary, direttore della fonderia di Casamère presso Besançon, la communicazione delle seguenti osservazioni, che dimostrano l'azione favorevole alla capillarità della sabbia esercitata dal calore. Le esperienze di Daubrée spiegano completamente il fatto, apparentemente paradossale, che è riportato in questa nota.

« Durante le crescite del Doubs, quando il livello delle sue acque non è più che a 80 centimetri al disotto del piano della fonderia, la sabbia, che forma il suolo, si impregna di umidità, e diviene fangosa in tutte quelle parti ove il suolo ha subíto un riscaldamento, mentre rimangono asciutte le porzioni del suolo rimaste fredde. Il fatto più sagliente da noi rimarcato, saranno ora dieci anni, è il seguente: la vigilia di un giorno di fondita, il suolo della fonderia era coperto di modelli, dei quali alcuni erano stati aperti, e collocati sopra cavalletti di ghisa, accendendovisi per disotto dei fuochi di coke per asciugarli. Durante la notte le acque del Doubs crebbero rapidamente; l'umidità guadagnò le parti dove trovavansi i fuochi, e il suolo, divenuto fangoso, si sfondò sotto i cavalletti, che si rovesciarono coi modelli sovrapposti. Al mattino soltanto apparve il guasto cagionato dall' umidità durante la notte: nessun modello, di quelli che non furono riscaldati, aveva subito o depressione o sconcio di sorta; il suolo sotto di essi era rimasto perfettamente secco e solido, e l'umidità si limitava agli spazî riscaldati. »

602. Per formarci ora un'idea adequata della forza esplosiva de'vulcani, sarebbero a studiarsi in grande le leggi della balistica. I fenomeni già registrati dallo storie sono però sufficienti per stabilire dei calcoli circa la potenza esplosiva di un vulcano: eccone alcuni.

1.° Avviene spesso che, come volgarmente si esprimono i testimonî oculari, il mare si ritiri alla base di un vulcano. Ciò vuol dire, tutto il cono vulcanico è sollevato, spostato, o almeno scosso.

---

[1] *Prodrome de géologie*, II, *nota* a pag. 139.

2.° Si videro montagne vulcaniche squarciate da cima a fondo.

3.° Il getto di vapore, ossia il *pino d'eruzione*, è portato ad altezze straordinarie. Nella terribile eruzione del Kotlugaja (Islanda), avvenuta nel 1755, la colonna di fuoco, cioè di scorie incandescenti, era visibile in mare a 320 chilometri dalle coste. Doveva dunque levarsi fino a 8000 metri. A 7200 metri fu veduto lanciarsi un getto di bombe infuocate, durante l'eruzione del 1860 [1].

Pietre vulcaniche pesanti più di 100000 chilogr. furono lanciate alla distanza di parecchi chilom. dall'Etna e dal Vesuvio. Il Cotopaxi balestrò a 9 miglia una massa di lava di 100 m. cubici. Lo stesso vulcano, erompendo nel 1533, coprì il piano all'ingiro, entro un raggio di 25 chilom. e più, di grossi frammenti di roccia, di cui parecchi avevano un diametro di 9 piedi.

4.° Si calcoli l'altezza della colonna di lava, che dalle profondità terrestri è levata all'orifizio del vulcano. Si prenda di mira anche soltanto quella parte di essa colonna che corrisponde all'altezza del cono, quando la dejezione succede dal cratere terminale. Ritenendo, dietro esperienze fatte, che la lava pesi approssimativamente il triplo dell'acqua, una colonna dell'altezza del cono dell'Etna farebbe equilibrio a 900 atmosfere. La massima tensione delle macchine a vapore non ne oltrepassa dieci o dodici.

603. L'eruzione non sempre avviene alla sommità del cono. Le più forti si verificano invece ordinariamente alla base e sui lati. Il cono può rimanere così squarciato. L'Etna, p. es., nel 1669 fu squarciato dalla base fino ad un miglio dalla sommità, cioè sulla lunghezza di 12 miglia. Dalle squarciature le lave sgorgano come torrenti, e si formano quindi i crateri parassiti, i quali o restano coperti dalle successive dejezioni o si trasformano in crateri laterali permanenti. L'Etna, secondo Waltershausen, lascia vedere più di 700 coni sopra i suoi fianchi, e parecchie migliaja se ne osservano nell'isola Hawaii, secondo Dana.

604. Talora il vulcano si esaurisce in una eruzione laterale; talora invece succede alla laterale una eruzione alla sommità del cono. Talora anche violentissime eruzioni hanno luogo dal solo cratere terminale. Tali eruzioni, se moderate, non faranno che buttar in aria l'impalcatura del cratere ed anche parte del circo; ma nei maggiori parossismi una parte maggiore o minore del cono potrà essere demolita, talora tutta quasi la montagna rovesciata, come avvenne del vulcano Unsen (Giappone) nel 1793, convertito in abisso, colla morte di 53000 persone. Il cratere che rimane esprimerà, colla sua ampiezza, la violenza del parossismo.

[1] Scrope, *Les volcans*, pag. 417.

605. Veniamo ora ai prodotti della eruzione. Fra le materie solide eruttate menzioneremo dapprima le *pietre*, che danno totalmente alla fase pliniana l'aspetto dell'esplosione d'una mina. Ordinariamente le pietre non sono che grossi frantumi dell'impalcatura e del cireo. Alcune sembrano derivate dall'interno, e devono ritenersi strappate dai terreni che attraversa il vulcano. Si osservarono frammenti di roccie calcaree, dolomitiche e granitiche. Distinguiamo in secondo luogo le *bombe vulcaniche*, pezzi di lava fluida, rotolata e solidificata in aria. D'ordinario assumono la forma d'un fuso[1]. Pare provato che siano talora suscettive di vere detonazioni dovute allo sprigionarsi dei vapori contenuti nella lava, quando coll'essere lanciate a grande altezza, si sottraggono a gran parte della pressione atmosferica[2]. Infatti le bombe, dice Scrope, presentano un nucleo solido, entro ad un inviluppo vescicolare, ricoperto però esternamente da uno strato più compatto, anzi, aggiungo, fuso o semifuso. Perchè avvenga una detonazione, basta che il vapore, teso entro l'involucro vascolare, rompa l'involucro esterno. Le *scorie* sono pezzi di lava più porosi. Le lave feldspatiche sono assai più vischiose e si convertono, piuttosto che in scorie, in masse assai più porose, filamentose, a spezzatura vitrea, infine in *pomici*. Le lave eminentemente vischiose, sono stirate in masse filamentose, che richiamano l'asbesto.

---

[1] Non trovo che la formazione delle *bombe* sia stata finora ben definita. Io credo che le vere *bombe*, quelle che hanno come caratteristica la forma di fuso, abbiano origine invariabilmente da un frammento già solidificato, il quale, slanciato dal vulcano, trae seco uno strappo di lava fluida e pastosa. Quel frammento solido e compatto vince la resistenza dell'aria più facilmente che non la lava, la quale, distesa in ampia falda, come avviene di uno strappo di una massa pastosa, offre all'aria una superficie assai maggiore in proporzione della massa che deve vincerne la resistenza. Il pezzo solido sarà animato da velocità, e quindi da un moto di rotazione, proporzionatamente maggiore, in confronto col lembo di lava strappata, e dovrà quindi invilupparsi nella lava stessa, precisamente come quando io rotolo, p. es., una palla entro un foglio di carta, o meglio entro una falda di pasta spianata. La pasta apparirà gonfia nel mezzo, dove racchiudo la palla, e sottile alle due estremità del rotolo, che assumerà pertanto la forma di un fuso. L'osservazione pare che deponga in favore di questo modo di vedere. Fu osservato che talvolta il nucleo della bomba consta di un frammento di lava vecchia, e affatto diversa da quella che costituisce l'involucro. Quando il nucleo solido o l'involucro pastoso siano prodotti della stessa eruzione, non sarà così facile distinguere l'uno dall'altro. Ma il fatto più favorevole alla mia tesi è quello che io ho verificato in quasi tutte le bombe che mi fu dato osservare. Le bombe presentano alle loro superficie una specie di sutura longitudinale, molto decisa, fiancheggiata da un rilievo lineare, una specie di rimboccatura, quella precisamente che è disegnata dal lembo estremo di un foglio di pasta sulla superficie del rotolo, che uno ne abbia formato. La bomba vesuviana, rappresentata nella figura 50, mi fu donata dal prof. Scacchi, e presenta nel modo più evidente i due caratteri indicati. Sulla superficie infatti si osserva il rilievo lineare, longitudinale, irregolare, che ha tutta la forma di un lembo pastoso, formante una rimboccatura. Spezzata trasversalmente, presenta, come si vede nella figura, la sezione di un frammento angoloso di vecchia lava trachitica, già rugginosa per decomposizione, in un involucro di lava nera recente.

[2] Narra lo Scrope (*Les volcans*, pag. 145) che molte delle bombe lanciate dal Kotlugaja nel 1755 a 7200 m. d'altezza, scoppiarono, e s'intese lo scoppio alla distanza di 160 chilometri.

606. I *lapilli* sono frantumi minuti di lava; le *sabbie* e le *ceneri*, detriti finissimi sempre della stessa. Meritano speciale riguardo le ceneri prodotte dal violento attrito delle lave fra loro, e colle pareti del cratere. Si generano in tale quantità da formare, cadendo intorno al Vesuvio, letti dello spessore fin di 6 m. Spinte dal vulcano nelle regioni aeree, possono, in preda alle correnti atmosferiche, venir trasportate a enormi distanze, come avvenne delle ceneri del Vesuvio, le quali caddero a Costantinopoli, in Egitto, in Soria, e di quelle del Conseguina nel 1835, portate dal vento fino alla Giammaica, 700 miglia distante, in 4 giorni, facendo cioè 170 miglia al giorno. I materiali, benchè eruttati con tutto il disordine di una esplosione, non mancano però di formare depositi d' una certa regolarità. Le pietre cadranno più presso al cratere; le scorie e i lapilli più lontano; le sabbie e le ceneri più lontano ancora. I materiali così saranno abbastanza ben distribuiti e si formeranno depositi speciali. La forma di questi depositi sarà, per le pietre quella d' un mucchio o *talus* irregolare, quella di strati pei lapilli e le sabbie. Le ceneri possono paragonarsi alla neve per la loro finezza e per la tendenza ad adequare tutte le irregolarità del suolo. Devo però notare in proposito come le ceneri si formino, o piuttosto si accumulino, a preferenza sulla fine del parossismo, quando, come dice Scrope, il cratere è molto ampliato, o la lava si è profondamente abbassata; quando infine la forza esplosiva sia diminuita. È allora infatti che, non potendo ejaculare frammenti di un certo peso, il vulcano li rimesta e tritura, finchè possa slanciarli al di fuori. Naturale conseguenza di ciò sarà anche che le ultime materie eruttate siano ceneri; il che spiega come i coni, formati durante una sola eruzione, sian detti a preferenza coni di ceneri, costituendone le ceneri gli strati più superficiali [1].

Fig. 50. { *a* Bomba vesuviana. *b* Sezione trasversale della stessa. }

[1] Qui si parla unicamente delle ceneri che piovono entro il circolo più o meno vasto, avente per suo centro il cratere, che i materiali detritici descrivono sulla montagna ignivoma

607. Veniamo alle lave, il più importante dei prodotti eruttivi, come quello in cui troveranno un raffronto le antiche roccie cristalline. Come si presentano le lave?

L'emissione delle lave non è mai un fenomeno concomitante la prima esplosione di un vulcano. Anzi non è nemmeno un fenomeno che consegua necessariamente all'eruzione. Molti vulcani, nominatamente in America, atterrirono colle più spettacolose eruzioni, senza emettere nessuna corrente di lava. Quando poi la lava venga emessa, ciò avviene sempre dopo un certo intervallo, talora molto considerevole, e precisamente quando il primo violento parossismo è sul cessare. Si può dire che l'emissione delle lave è l' ultimo atto nella *fase pliniana*. L'emissione delle lave ha luogo talora immediatamente dal cratere; ma più spesso dai lati del vulcano. A ogni modo io credo che non potrà mai aver luogo dal cratere, quando possa essere laterale, vale a dire quando il cono si spacchi lateralmente. L'emissione delle lave in fatti avviene precisamente come avverrebbe il traboccare di un liquido vischioso da una pentola. Se la pentola venisse per avventura a fendersi dall'alto al basso, non più certamente dal labbro di essa pentola, ma dalla parte più bassa della fessura (supposto lo spazio sufficiente) si riverserebbe il liquido. Che un vulcano possa paragonarsi a una pentola contenente del liquido vischioso in ebollizione, lo dicono abbastanza lo Stromboli, il Kilauea (Havaii), ove lo spettatore può contemplare quanto vuole la lava in ebollizione, che alternatamente si leva rigonfiandosi e ricade collo sprigionarsi dei vapori, precisamente come quelle caldaje di pece nell' arsenale de' Veneziani, così ben descritte da Dante.

608. Sia violento lo sprigionarsi del vapore fino a produrre gli effetti di una esplosione, o sia lento, come si osserva nel cratere dello Stromboli, sempre lo sviluppo del vapore precederà il riversarsi del liquido. A ogni modo lo sprigionarsi del vapore e il riversarsi della lava sono due fenomeni distinti, i quali possono apparirci separati da un grande intervallo di tempo e di spazio. Dico di spazio, perchè, non solo l' esplosione precede la dejezione delle lave, ma la prima può presentarsi in un luogo, la seconda in un altro. I casi possibili possono ridursi a quattro:

1.° L'eruzione si consuma nel cratere terminale; e all' esplosione terrà dietro il riversarsi della lava dall' istesso cratere.

2.° Precede l'esplosione dal cratere terminale e susseguе (previa la rottura del cono) la dejezione dai lati.

o sul paese circostante, e il cui raggio misura il valore della spinta immediata, communicata dai vapori ai detriti. Le ceneri, portate dalle correnti atmosferiche a indefinite distanze, sono fuori di questione.

3.° L'eruzione si consuma tutta sui lati, cioè da un punto laterale qualunque ha luogo prima l'esplosione poi la dejezione.

4.° Precede l'eruzione sui lati, segue quindi sul cratere terminale. La sola esplosione muterà di luogo, cominciando laterale e finendo terminale; la dejezione si manterrà sempre laterale.

609. I casi suddetti, i quali possono ripetersi, alternarsi le molte volte in un periodo di eruzione, si spiegano coll'applicazione di due leggi semplicissimo: la prima che i vapori, sprigionandosi, tendono all'alto; la seconda che i liquidi, effondendosi, tendono al basso. Per rendere la cosa pratica, vediamo come possa verificarsi il secondo dei casi summentovati, quello cioè in cui precede l'esplosione dal cratere terminale e sussegue la dejezione laterale.

610. La figura 51 rappresenta la sezione di un vulcano, il cui cratere *c* si sprofonda verticalmente fino alle ignote profondità ove si raduna la lava sollecitata dal vapore acqueo a grande tensione. Il momento dell'eruzione sarà quando la tensione dei vapori riesca sufficiente a vincere gli ostacoli. Il più ordinario dev' essere l' ostruzione del cratere, o piuttosto del camino vulcanico, ingrumato dalle lave delle precedenti eruzioni. È contro questi ingombri che si slancia il vapore, portato alla massima tensione, e scoppia, facendo saltare, come avvenne le mille volte, la solida impalcatura del cratere, e una parte maggiore o minore del circo del cono. Allora si estolle dal cratere terminale il pino vulcanico, e con lui quei nembi di detriti, per cui sono così formidabili i parossismi eruttivi. La lava intanto, da cui il vapore si svolge, ribolle e si gonfia nelle ignote profondità, e anch'essa ascende pel camino disostrutto, ma con estrema lentezza in confronto della rapidità con cui ascende il vapore. Eccola però arrivata all'orlo del cratere *c*, da cui si riverserà, come nel primo dei quattro casi contemplati. Ma levandosi a quell'altezza, eserciterà una pressione, la quale è da aggiungersi alla forza espansiva del vapore, che tende a squarciare il cono; e se vi ha un punto in cui la coesione della montagna (formata per la massima parte di materiali incoerenti) non possa far

Fig. 51. Sezione di un vulcano nell'atto di una eruzione laterale.

equilibrio alla doppia forza, che tende a romperla, in quel punto la montagna si squarcerà. Ho detto un *punto*, ma doveva dire una *linea* di minore resistenza, che si tradurrà in una linea, o piuttosto in un piano, di frattura, il quale discenderà verticalmente dal labbro del cratere, dove si verifica il minimo spessore, e quindi la minore resistenza, fino a quel punto in cui lo spessore della montagna sia tale da resistere alla forza che tende a squarciarla. Questo punto sia *a* nella figura 51. La lava che ascende, supponiamo fino all'orlo *c*, avrà aggiunto alla forza espansiva dei vapori, che agisce nel punto *a*, la pressione idrostatica di una colonna di lava *a c*. Quando la somma delle pressioni sia sufficiente, si determinerà un piano di frattura, rappresentato dal triangolo *a b c*. La lava, che pel proprio peso tende al basso, si riverserà, come da un canale, lungo la linea *a b*, e nel punto *b* avverrà la dejezione di essa, in forma di corrente. Sulla bocca di scolo *b* i vapori, che si svolgono impetuosi dalla lava, ne buttano in aria gli sprazzi, e sorgerà uno di quei coni avventizî, che si formano sempre nel punto in cui si determina una eruzione laterale. La massa principale dei vapori però, sviluppandosi dalle profondità del vulcano, si leverà verticalmente, mantenendo sulla cima della montagna il fenomeno più apparente di una eruzione: ma il vapore stesso, spinto lateralmente entro la fessura, la rivelerà all'esterno, mediante una serie di fumajoli, che nella figura 51 si vedono sorgere sulla linea *b c*.

611. Quanto fu esposto in via ipotetica non è che l' espressione, ridotta alla massima semplicità, di storiche eruzioni, e certamente di tutte quelle, per cui si avverò la contemporanea attività di un cratere laterale, e del terminale. Valga per tutto l'eruzione etnea del 1865, come è narrata dal Silvestri. Qualche giorno prima dell' eruzione laterale si era vista una colonna di fumo rizzarsi densa e formidabile sulla cima dell' Etna, seco portando nembi di cenere. Il fenomeno durò più giorni. Ecco il primo periodo; l' esplosione dei vapori dal libero cratere. Il 3 gennajo 1865, dopo scosse di terremoti e rombi sotterranei, una viva luce splendè alla base del Monte Frumento, uno dei coni avventizî fabbricato da antica eruzione sul fianco dell' Etna. Nel momento che quella luce apparve, si era aperta in quel luogo una lunga fessura, e ne sgorgava un torrente impetuoso di lava, della larghezza di uno a due chilometri. La lava, che prima tentava di guadagnare la cima dell' Etna, ne aveva dunque squarciato il fianco, e ne usciva per semplice *drenaggio*. Durante questa dejezione laterale il cratere terminale continuava a emettere dense colonne di fumo, con periodi di maggior risalto, i quali si accordavano coi periodi intermittenti di recrudescenza laterale. L'eruzione laterale, ossia la dejezione, cessava col giugno; ma il vapore continuava

a svolgersi dal cratere terminale, anzi si era accresciuto nel luglio e nell'agosto, causando temporali, pioggie, e grandini.

612. Prescindendo da possibili complicazioni, ammesso che il cratere sia libero, e il fianco della montagna si squarci, la massima quantità di vapore ascende pel cratere, e continuerà a buttar fuori pietre, lapilli e ceneri, mentre le lave, per semplice *drenaggio*, fluiranno dalla parte inferiore della squarciatura. La lava cesserà non appena la forza, che la spinge ad ascendere, non valga più a portarla fino al punto, ove il drenaggio ha luogo, precisamente come cessa l'afflusso del vino da una botte, appena il suo livello sia disceso al disotto del punto ove si apre la spina. I vapori però, derivanti da maggiori profondità, potranno continuare, per un tempo indefinito, ad erompere dal cratere terminale.

613. Le eruzioni laterali avvengono assai frequentemente nei grandi vulcani. Le lave dell'Etna, p. es., le storiche e in gran parte le preistoriche, sgorgarono dai lati, come lo attesta il numero ingente di coni avventizî, di cui sono irti i fianchi di quel gigante dei vulcani. Il fenomeno dipende certamente per la massima parte dalla ingente pressione idrostatica che esercita la lava, quando è in via di guadagnare la sommità del cratere. Si calcola che il peso specifico delle lave etnee sia 3. Una colonna di lava che si alzi internamente dalla base al vertice del cono, avendo un' altezza verticale di circa 3300 m., verrebbe a esercitare una pressione pari a quella di una colonna di acqua alta 9900 m., cioè una pressione equivalente a circa 900 atmosfere, come abbiamo già detto parlando della forza espansiva del vapore (§ 602). Non farà meraviglia che una pressione anche assai minore valga a determinare una spezzatura della montagna.

614. A conferma dei principî che risultano da quanto si è esposto, diamo anche un esempio del 4.° caso. Ecco come è narrata dallo Spallanzani la celeberrima eruzione etnea del 1669.

« Nel mattino degli 11 marzo 1669 fecesi una ben larga spaccatura, che, non lungi dal sito dove poi surse Monte Rosso [1], si allungò per 10 miglia, in dirittura del sommo cratere dell' Etna. Similmente l' entrante notte degli 11 suddetto, si aperse un' altra grande squarciatura, da cui immediatamente vibrati vennero immensi globi di fumo; indi grandini di liquefatte pietre, previi orrendi muggiti e scuotimenti di terra. La seguente notte ne sboccò un fiume di lava, e il dì 13 dello stesso mese, oltre le pietre, ne uscì fuori un' immensa quantità di arena. Durante in-

[1] L'eminenza di cui parla l'autore è ora indicata al plurale col nome di *Monti Rossi*, perchè il profilo di essa è bicipite, e rossigno il detrito che la compone.

tanto questo orribile spettacolo di sotterranei tuoni, di tremuoti, di aprimento di terra, di corrente lava, di grandinate, taceva pienamente il superiore cratere dell'Etna... Conservato avendo fino al 25° giorno di quel mese la quiete e il silenzio, lo ruppe in seguito, infuriando presso a poco coi medesimi sintomi di fumo, di tuoni, di terremoti, di arene, e di sassi eruttati, e colla rovina in fine del vertice suo nella voragine precipitato e sepolto [1]. » Ecco una eruzione, che riesce prima a rompere la montagna, che a sbarazzare la via del cratere. L'esplosione dei vapori e la dejezione delle lave avvengono quindi sui lati; ma più tardi, sbarazzato il cratere, i vapori, non già le lave, ne sbucano. La lava uscì tutta dalla voragine ai piedi dei Monti Rossi, discese verso Catania, divise la città per lo mezzo, e si spinse ben alto dentro il mare. I fenomeni sono diversi, ma i principî son sempre gli stessi.

La figura 52 presenta il complesso dei fenomeni descritti, come sono espressi con molta evidenza, benchè assai rozzamente, dalla Tavola I^a^

Fig. 52. Eruzione dell'Etna nel 1669.
A. Cima dell'Etna. — B. Monti Rossi. — C. Valle del Bove. — D. Catania. — E. Scogli de' Ciclopi. F. Aci-Castello. — X X. Spaccatura di 10 miglia. — Y. Corrente di lava del 1669.

annessa al volume primo dei viaggi dello Spallanzani. Il profilo dell'Etna fu però preso dal mare davanti a Catania dal mio amico signor Emilio Spreafico.

615. Comunque, o dai lati o dal cratere, le lave, riboccando talora in quantità veramente prodigiosa, giù giù si precipitano dai fianchi della montagna ignivoma, o scorrono sui lenti pendîi o sul piano a guisa di fiumi di fuoco, in mezzo ad un nembo di vapori (*correnti di lava*). La lava, quando sgorga, sembra talora d'una fluidità perfetta. Ordinariamente invece è già pastosa, e fu assomigliata ad un cemento di calce (malta) già mezzo secco da Scrope, ad una farina che esca fuori dalla mola da Hamilton. Un grado singolare di fluidità, è, p. es., caratteristico delle lave moderne delle isole Hawaii. È celebre, sotto questo rapporto, l'eruzione del gran vulcano Mauna-Loa, avvenuta nel 1859. L'eruzione (s'intende l'emissione delle lave) ebbe luogo sul lato nord del cono. La lava, dice Haskell, professore del collegio di Oâu, sgorgava dai sotterranei meati e si riversava, formando

[1] *Viaggi alle due Sicilie*, vol. 1, pag. 273.

cascata, con tal impeto e velocità, che l'occhio poteva appena seguirla. Era bianca, cioè perfettamente incandescente, e apparentemente liquida come l'acqua. Come mostra la figura 53, si erano formati tre coni con crateri. I due, che si presentano a destra, lanciavano pezzi di lava fino all' altezza di 150 piedi. Il terzo, oltre all' offrire lo stesso fenomeno, figurava come una fontana di lava, schizzando in alto tre colonne di liquido incandescente, alto 25 piedi [1]. Il caso descritto però è affatto eccezionale. L' aspetto ordinario della lava è quello di una pasta densissima. La corrente, coperta in breve di scorie, che vanno sempre più accumulandosi e ingrossandosi, finisce coll'assomigliarsi a una frana gigantesca, che rovini, lentamente rotando.

Fig. 53. Fontana di lava sul Mauna-Loa il 10 febbraio 1859.

616. La temperatura delle lave è difficile a stabilirsi. Roth avrebbe trovato per la lava del Vesuvio un massimo di 1000° Réaumur: essa può desumersi dagli effetti. Carbonizza ed incendia per semplice irradiazione; fu vista fondere l' argento, aumentare tre o quattro volte il volume del ferro, convertire il rame in pirite (rame solforato) per l' unione collo zolfo.

617. La lava, uscita dal cratere, si raffredda istantaneamente alla superficie, e si ricopre di scorie galleggianti, che, riunite principalmente sui lati, improvvisano un canale alla corrente, e talora, estendendosi sulle correnti stesse, le ricoprono intieramente come di una vôlta. Anzi, a poca distanza dalla sorgente, la corrente perde ogni apparenza di un liquido semovente. Sepolta, incassata entro le scorie prodotte dal consolidamento della superficie, si svolge quasi entro un sacco, in guisa che lo strato superficiale delle scorie passa sul davanti e, quasi pigiato da un cilindro rotante, discende a formare uno strato scoriaceo inferiore alla lava. Anzi lo strato scoriaceo superiore, raggiungendo enorme spessore, e fratturato dai movimenti della corrente, non si presenta talora più che come una congerie di massi enormi di forma prismatica, che si muovono a guisa di lenta frana, urtandosi, rovesciandosi, rotando l' uno sul-

[1] W. I. Brigham, *Notes on the volcanic phenomena*, ecc. Mem. Boston Society of Nat. Hist. Vol. I, 1868.

l'altro con spaventevole fracasso. La volta, che la corrente costruisce a sè stessa, consolidandosi alla superficie, riesce sovente a formare un sistema rigido a sè, sicchè non segue, a mo' di galleggiante, il moto della corrente, ma rimane veramente sopra la corrente in forma di solida volta. Se avviene che l'eflusso della lava diminnisca, e la corrente si dimagri, essa, abbassandosi, sfuggendo per disotto, o anche esaurendosi affatto, avrà lasciata in piedi la volta, cioè un *tunnel*, nna caverna. Tale è l'origine di molte caverne nelle montagne vulcaniche. Sovente però quella volta improvvisata, non potendo reggersi, appena le manchi il sostegno, si sfonda, e in luogo di un *tunnel* abbiamo un canale ben delineato, il cui fondo rimane coperto dallo sfasciume della volta diroccata.

618. Questi e altri fenomeni mi furono presentati come non si potrebbe desiderar meglio dall'apparato eruttivo del 1868 sul Vesuvio. Una crepatura visibilissima, e segnata da una serie di fumajoli, mostrava come quella eruziono era avvenuta colla spaccatura del gran cono, dalla sommità fino alla base nell'Atrio del cavallo. Il cono erasi così spaccato la mattina del 15 novembre, uscendone, alla estremità più bassa, tre fiumi di lava, che improvvisavano 12 coni. Così lasciò scritto Palmieri. All'estremità inferiore della spaccatura, precisamente sul piano dell'Atrio, si espandeva infatti la lava, d'indole molto vischiosa, in forma di fiume, o piuttosto di lago ondoso, o quasi di mare in tempesta. La legge del drenaggio, spiegata al § 607, non vi poteva esser meglio confermata. Ma all'origine, meglio che una sola corrente, si rimarcava un intreccio, quasi un labirinto, di più correnti, confluenti in una più bassa. Un cono, formato dai brani di lava buttati in aria dal vapore, segnava l'origine di ciascuna. Ciò almeno mi risultò evidente dall'attento esame di quella, che mi parve la principale.

Questa corrente si vedeva, quasi ancora fluisse, sgorgare di sotterra, e stolgersi immediatamente all'ingiù, secondando il pendio. La sua scaturigine era protetta da una volta, ossia da un cono vuoto, che, per esprimermi, aveva la forma di una sformata damigiana, alta forse 10 m. e larga 5 m, aperta, anzi decollata in alto, e rotta presso il fondo dal lato che guardava l'Atrio. Il cono si componeva in guisa che risultà evidente essersi formato per la sovrapposizione di grumi vischiosi di lava, buttati in alto dal vapore che si liberava dalla sorgente, e li lasciava poi ricadere all'ingiro dell'orifizio, mantenendo libero il mezzo. Penetrando per quell'apertura alla base, mi trovai quasi entro un forno, a volta elittica, aperta alla sommità. I grumi di lava, slanciati contro l'interno della volta, mano mano che si veniva formando, colando per la propria viscosità, avevano presa la forma di vaghissime stallatiti, che splendevano, quasi smaltate di una miriade di gemme microscopiche. Quelle

gemme erano lamelle di ferro oligisto, sublimato in copia singolare da quella eruzione. Quanto alla forma la si vede del resto quasi precisamente figurata dal cono fumante nel gruppo rappresentato qui avanti dalla figura 55. La corrente di lava si era levata fino alla sommità dell'aper-

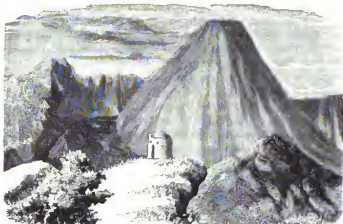



Fig. 54. Veduta del Vesuvio dalla parte dell'Atrio del cavallo [1].

tura basilare del cono, ove, consolidandosi, aveva buttato una volta. Ma abbassatasi in seguito, aveva costrutto una seconda volta più bassa, parallela alla prima, e si era quindi abbassata di nuovo ed esaurita. Io potei osservare benissimo le reliquie del doppio *tunnel*, rimanendo ancora in piedi una parte delle due volte. La parte maggiore però era rovinata, e il doppio *tunnel* sostituito da un canale profondo, a sponde quasi verticali. I fenomeni erano qui rappresentati su una scala relativamente assai piccola; ma la via, che conduce da Zafferana nella Valle del bove (Etna), non è che un mostruoso canale, il quale indica il corso di un filo enorme

---

1. Questa figura è tolta da un disegno preso sul luogo dal mio amico prof. Torquato Taramelli nel 1864, quando il vulcano era perfettamente estinto. Sulla destra dell'osservatore sorge il cono vesuviano; sulla sinistra spicca la cerchia dentata del recinto, ossia del *Monte Somma*. Tra l'uno e l'altra si distende un piano, che è detto Atrio del cavallo, perchè è la meta ove si arrestano le cavalcature, a cui il cono riesce assolutamente inaccessibile. Sul davanti una eminenza, sulla quale è fabbricato l'osservatorio di San Salvatore. Questa eminenza non è, geograficamente e geologicamente, che il dente più occidentale del Somma, divisone ora da una depressione profonda. Le correnti moderne, che sgorgarono sovente dal fianco del Vesuvio verso l'Atrio, urtando contro l'eminenza di San Salvatore, si ripiegarono o a destra o a sinistra di essa, per giungere al mare, colla rovina dei colti e dei paesi sottoposti.

della corrente del 1852. Quel canale misura forse due chilometri in lunghezza, è largo circa 60 m., fiancheggiato da sponde alte da 20 a 30 metri.

619. La velocità della lava è varia, seguendo in tutto le leggi delle correnti. Lo stato di fluidità, più o meno perfetto, e il valore del pendio, sono le due principali circostanze influenti sulla velocità. Da una lentezza, che quasi rende impercettibile il moto, si passa gradatamente a una velocità di 610 piedi al minuto. Ma quando si parla di un grado di velocità così sorprendente, non si può intendere che del primo momento della sua sortita dal cratere, rallentandosi essa ben presto e assai considerevolmente. La lava del Mauna-Loa, quella stessa del 1859, che sprizzava in forma di fontana artificiale (fig. 53), divenuta corrente, volgevasi al mare con una velocità media di 7 miglia al giorno. Il più lento dei nostri fiumi ne avrebbe fatto 70 nello stesso tempo, e un torrente alpino 400.

620. Il raffreddamento della lava continua con grande sviluppo di vapori e di gas, per cui, se essa si accumula entro naturali bacini, come avviene spesso, tutta ne ribolle, o si formano dei coni e dei crateri, che si crederebbero veri coni e crateri vulcanici. Alcuni di tali coni hanno la forma di rigonfiamenti, quasi prodotti, secondo Scrope, da ammassi di vapore, riuniti a formare una gran bolla che scoppia a suo tempo. Altri ritraggono la forma degli ordinarî coni detritici, producendosi dai vapori, nello svilupparsi, vere eruzioni di scorie e di lave. Il gruppo dei coni (fig. 55) formati sulla superficie della lava del Vesuvio del 1855, disegnato da Schmidt, ne presenta dell'uno e dell'altro genere; so pure è certo che quei coni fossero creati semplicemente dai vapori e dai gas, svolgentisi dalla lava, e non indicassero, com' io sospetto, la fessura, onde la lava si espanse, come quelli, affatto somiglianti, che coprivano, a mo' di campana, precisamente lo sbocco delle sorgenti delle lave vesuviane del 1868 (§ 618).

621. È incredibile la quantità di lava, che può essere vomitata durante una sola eruzione. Accennerò il fatto più imponente di questo genere. La lava, eruttata in tre riprese nel 1783 dallo Skaptar Jokul (Islanda), formò due correnti, la prima lunga 80 chilometri, larga fin 24; la seconda, lunga 65, larga 12. Lo spessore della lava trovossi fin di 150 metri. Si calcolò, dice Scrope, che la massa di quelle lave soverchiasse il volume del monte Bianco. Nessuna massa ignea, eruttata in una sola volta, in qualunque epoca del globo, starebbe a pari, secondo Lyell, di questa sola corrente.

622. In che stato esce la lava dal cratere? È essa veramente liquida, o, per meglio dire, allo stato di perfetta fusione, come sembra in apparenza? Ciò era diffatti universalmente ammesso, e fu questa l' opinione che ritardò immensamente lo sviluppo della geologia, e che de' terreni

cristallini, detti anche eruttivi, fece altrettanti problemi insolubili. Ma questa è appunto una di quelle questioni che esigono tutta la pienezza degli argomenti per essere trattata. Noi ci riserbiamo adunque di dimo-

Fig. 55. Coni formati sulla lava del Vesuvio nel 1855 [1].

strare nella GEOLOGIA ENDOGRAFICA, come le lave antiche e moderne escano già cristallizzate, e non siano che *impasti acquei cristallini* vomitati dalle viscere della terra.

623. Le lave, o eruttate o injettate, si compongono sempre di silicati d'allumina o di magnesia, con protossido di ferro, potassa, o soda o calce. Questi elementi sono generalmente cristallizzati sotto alcune delle forme del feldspato, dell' anfigene, del quarzo, dell' angite, dell' orneblenda, del mica, dell' olivina, del ferro titanato. Il *feldspato*, d' ordinario vitreo, talora opaco, forma nelle trachiti porfiroidi cristalli di due pollici di lunghezza. Nelle lave è talora rimpiazzato dalla *leucite*, in cristalli dodecaedri, che attingono grandi dimensioni. L'*augite* e l'*orneblenda* vi figurano in cristalli spesso di riguardevoli dimensioni e regolarissimi. Il *mica* vi si presenta generalmente in tavole esagonali o romboidali; l' *olivina* in cristalli o granuli verde-ulivo brillanti e anche in nodi rocciosi; il *ferro titanato* in grani o cristalli ottaedrici. Questi sono i caratteri generali che Scrope assegna alle lave, comprendendovi le trachiti e i basalti, e in genere quelle roccie quaternarie e terziarie, della cui origine vulcanica nessuno dubita. Vedremo a suo tempo, come, dietro tali caratteri, si riconoscano le roccie eruttive di qualunque epoca del globo.

624. Come tipo di lava moderna eccovi la lava etnea del 1865, mineralogicamente e chimicamente analizzata dal Silvestri [2].

---

[1] Questa figura è copiata dall'opera di Scrope, *Les volcans*, pag. 81.

[2] Ai tre minerali componenti la lava va aggiunto qualche centesimo di iserina o ferro titanato.

.Composizione mineralogica in 28 parti :

Feldspato labradorite	17
Pirossene augite	10
Olivina	1
	28

Analisi chimica.

Silice	49, 99	
Allumina	18, 57	
Protossido di ferro	12, 00	
Protossido di manganese	0, 39	
Calce	10, 45	
Magnesia	4, 00	
Potassa	0, 73	
Soda	3, 50	
Acido fosforico	0, 00	traccie
» titanico	0, 00	traccie
Vanadio o acido vanadico	0, 00	traccie
Acqua	0, 37	
	100, 00	

625. Il raffreddamento delle lave è lentissimo nell' interno; le scorie sono assai coibenti. La lava della grande corrente dello Skaptar Jokul, or ora descritta, scottava ancora alla superficie undici anni dopo. Ferrari e Dolomieu osservarono una corrente di lava dell'Etna ancora in movimento dieci anni dopo l'eruzione. I vapori, che anche in questi ultimi anni, come riferisce Scrope, escono in copia enorme dalle fessure, attestano che la gran massa di lava che ricoprì il piano di Jorullo è calda ancora, mantenendo un'alta temperatura da oltre un secolo, poichè l'eruzione avvenne nel 1759. Il consolidamento dell'interno delle grandi masse di lava non può quindi avvenire che colla massima lentezza. Le lave solidificate sono soggette alla decomposizione. Alcune molto feldspatiche si convertono rapidamente alla superficie in terriccio assai fertile. Lave invece antichissime conservano ancora la loro apparenza rocciosa.

626. Ho detto che non sempre il rigurgito delle lave tiene dietro alla esplosione. Molte volte non vi ha che eruzione di scorie, forse perchè la lava si raffredda prima di giungere all'orifizio del cratere. Talora anche non vi è eruzione che di ceneri e di vapori. Talora, piuttosto che di correnti di lava, parlasi di correnti di fango. Tali correnti non saranno molte volte che il prodotto delle pioggie torrenziali, originate dai vapori dell'eruzione; ma molte volte ancora bisogna ritenere che l'eruzione fangosa esce veramente dal cratere, ove le ceneri mischiansi in copia ingente all'acqua, suc-

chiata dal vulcano, o dal mare, o da interni serbatoi. L' Imbadura, vulcano d'America, nel 1791 eruttò una tale quantità di pesci, che l'aria ne rimase appestata e nei dintorni si svilupparono le febbri. In questo caso si può ritenere che l'eruzione si ridestasse in un cratere convertito in lago (fenomeno frequentissimo, come vedremo), in cui i pesci avevano già avuto tempo di stabilirsi e moltiplicarsi. Le correnti fangose possono essere prodotte anche dallo scioglimento delle nevi, che coprono il vulcano. Ciò avvenne spesso volte nello Ando, e si osservò sull'Etna nel 1785. Ma una vera eruzione acquea fu certamente quella del Galong-Goung (Iava) avvenuta nel 1822. Quella motagna era allora coperta di una folta foresta. Si osservava alla sua sommità una cavità circolare; ma non vi era tradizione che alcuna eruzione fossevi avvenuta giammai. Nel luglio di quell' anno le acque del fiume Kunir, che sgorgava dal suo fianco, divennero calde e torbide. Addì 8 ottobre si udì una detonazione violenta; la terra tremò; immense colonne di acqua calda e di fango bollente, misti a solfo ardente, ceneri e lapilli, furono lanciate dalla montagna a modo di fontana gigantesca; e con forza sì prodigiosa, che una grande quantità di quelle materie andò a cadere al di là del fiume Tandoi, che scorre a 40 miglia di distanza. Tutte le valli entro il raggio di quella eruzione furono riempite d'un torrente d'acqua cocente. Uno spazio di 24 miglia tra la montagna e il fiume Tandoi fu coperto d'un fango bleuastro di tale spessore, che gli abitanti si trovarono sepolti nelle loro case, nè rimase più alcuna traccia visibile delle piantagioni e dei villaggi numerosi sparsi nella campagna [1].

627. Io credo che di una eruzione fangosa principalmente sia rimasta vittima Pompei. È noto che quella città non fu già invasa dalle lave, ma sepolta sotto il detrito nella eruzione del 79. Il terreno messo a nudo dagli scavi consta principalmente di strati alternanti di lapilli e di ceneri, le quali hanno tutto l'aspetto di un fango. Una sezione, da me rilevata nel 1869 mi presentò, dal basso all'alto, la serie seguente:

1.° Strato di lapilli	metri	3,00
2.° Straterelli di ceneri	"	0,06
3.° Lapilli	"	0,03
4.° Strato di fango	"	1,30
5.° Lapilli	"	0,02
6.° Fango	"	0,02
7.° Lapilli	"	0,02
8.° Fango	"	1,10
	Metri	5,55

[1] Lyell, *Principes de géologie*, III, pag. 224.

Pare che delle repentine alluvioni fangose siano allora principalmente rimasti vittime i pochi Pompeiani che si fidarono della solidità delle loro case. I cadaveri, ora così egregiamente modellati in gesso, erano sepolti nel fango così fino, che ritrasse fin tutta la morbidezza delle carnagioni. Quei modelli presentano donne e uomini seminudi, come furono sorpresi per le vie, mentre cercavano fuggire di notte alla inondazione. Favorevole al mio modo di vedere sembrami sopra tutto ciò che si osserva nella così detta *Cantina di Diomede*. Trattasi di una vera cantina a tre corritoi, formanti i tre lati di un gran quadrilatero regolare. Vi si accede per due porte aperte alle due estremità opposte. Quella specie di solidissimo sotterraneo fu trovato letteralmente pieno di un fango finissimo, quasi di una pasta di cenere senza lapilli. Io ne presi da una delle anfore vinarie che in gran numero vi si vedono ancora. Vi si trovarono diciotto cadaveri, meglio diciotto scheletri umani, quasi tutti pigiati contro una parete presso una delle porte. Sulla parete si disegnano ancora attualmente (certo per effetto degli umori putrescenti di cui il muro si imbevve) i profili di quei miserabili. Pare evidente adunque che quelle persone, che si credevano al sicuro, come lo erano dai lapilli e dalle pietre, furono improvvisamente sorpresi da una corrente di fango, che li soffocò nell'atto che cercavano di guadagnar quell'uscita.

628. I parossismi di un vulcano non sono mai, relativamente, di lunga durata. D'ordinario, appena la lava comincia ad effondersi, si nota un rallentamento nella violenza esplosiva; talvolta il parossismo ripiglia con violenza le due, le tre volte, e ad ogni nuova violenta accensione risponde una nuova ejaculazione di lava. Ma quando sono sedate le prime spasmodiche convulsioni, quando la lava fluisce libera, abbondante, diremo già che il vulcano dalla *fase di esplosione* o *fase pliniana* è passato alla *fase di dejezione* o *fase stromboliana*. Si intende che tra le due prime fasi, come in generale tra le fasi di un vulcano, non vi ha un punto sicuro di demarcazione. Noi vorremmo però fissare un po' meglio il concetto della seconda fase, pigliandolo in un senso limitato a quel tanto che alla fase di dejezione dà la sua vera importanza. Noi diremo che il vulcano è entrato nella sua seconda fase, soltanto quando, dopo qualche violento parossismo, si mantiene lungamente in una vera attività vulcanica, continuando ad emettere lave, o almeno a farlo ribollire nel cratere, mantenendo ad ogni modo in communicazione diretta l' interno coll' esterno del globo. Ciò non avviene sempre. Il Jorullo, p. es., passò quasi immediatamente dalla violenta esplosione, accompagnata da enorme scolo di lave, allo stato di inattività o di estinzione. Più volte il Vesuvio si acquietò assai prestamente dopo le sue eruzioni, non emettendo più che

vapori dal pavimento consolidato dal cratere. Altre volte invece durò lungo tempo in quella fase che si dice *stromboliana*, perchè lo Stromboli vi persiste da tempi preistorici. Eccovi la descrizione che di questo tipico vulcano ci lasciò lo Spallanzani, dalla quale risulterebbe che lo Stromboli si presenta ancor attualmente quale fu descritto da Polibio, Strabone e Plinio.

629. « Le labbra del cratere, che nella forma tondeggiano, e girano attorno nulla più di 340 piedi, sono un disordinato ammassamento di lave, di scorie, di arene. Le interne pareti nel discendere si restringono, conformandosi in un cono troncato e capovolto. Codeste pareti dall'est al sud inchinano dolcemente; ma in altre parti ripidissima ne è la pendenza. In più luoghi si mirano incrostate di gialle sostanze, che avvisai essere muriato d'ammoniaca, oppur solfo. Il cratere fino a una data altezza è riempito di una liquida materia infocata, emulante il bronzo fuso e che altro non è che la squagliata lava, la quale scorgesi agitata da due sensibilissimi moti, l'uno vorticoso, tumultuario, intestino, l'altro all'insù impellente la liquefatta materia, e questo meritava la più esatta attenzione. Essa dunque viene innalzata quando più e quando meno rapidamente dentro al cratere; e giunta alla distanza di 25 o 30 piedi dal superior lembo, fa sentire di presente uno scoppio, non dissomigliante a un brevissimo colpo di tuono, e in quel momento una porzione di lava in mille brani divisa, con indicibile prestezza, è in alto lanciata, con profluvio di fumo, di faville, di arena. Qualche istante prima dello scoppio la lava si gonfia in capaci bolle, e queste bolle poco appresso si rompono, e nell'atto della rottura generasi la detonazione e la grandinata. Seguíta l'esplosione, la lava dentro del cratere s'abbassa; ma indi a poco, siccome prima, rialzasi, nascono novelli tumori, novelle rotture, e quindi nuove esplosioni. Abbassandosi la lava, poco o nulla strepita, ma quando sollevasi, e sopra tutto comincia a dilatarsi in bolle, fa sentire in grande quel rumore, che manda fuori un liquido che bolle dirottamente in un vaso . . .

« La lava del cratere o s'alzi o s'abbassi, poco fumica; ma grandemente quando scoppia, ed è dalle rotture di lei che scappa il fumo; ma questo quasi del tutto svanisce, finito lo scoppio. Potrebbe compararsi al fumo che si genera nell'accensione della polvere d'archibuso, il quale in un baleno apparisce e quasi in un baleno dispare . . .

« Atteso il vicendevole alzamento o abbassamento della lava nel cratere, secondo ch'ella gonfiasi o disenfiasi, il vuoto di detto cratere non è costante. Nel primo caso sembra essere 25 o 30 piedi profondo, e nel secondo 45 o 50. Quindi il sollevamento più grande della lava pare che sia di piedi 20 . . .

« Ai sopramemorati fonomeni osservati di giorno gioverà aggiungere alcuni altri vednti di notto, giacchè l' asilo di qnella piccola grotta mi diede agio di osservarli puro in tal tempo. Alla superficio non arde mai di alcuna fiamma sensibilo la lava del cratere, neppure qnando con fragoro dirompono le suo bolle; ma brilla di un lume candesconto o vivissimo, ed io non saprei meglio compararla che al vetro strutto in una fornace avvampante. Da qnel fondo poi si spande intorno il lnme, e levasi alto, ma quasi sempro irreqnieto, or salendo più, ora abbassandosi, secondo cho (per quanto ne appare) si attolle e si deprime la lava [1]. »

630. I fenomeni dello Stromboli furono (se ancora nol sono) presentati su scala gigantesca dal Masaya, vulcano dell' America centrale, fra i laghi Nicaragua e Managua. Gli Spagnuoli scopritori lo chiamarono molto a proposito *el Infierno de Masaya*. Il vulcano è circondato da un vasto campo di lave, che accusano violenti eruzioni, le quali precedettero il periodo della sua *fase stromboliana*. Visitato da Gonzales Fernando nel 1501, il cratore presentava nn vero abisso. Attraverso una grande apertura infiammata, si vedevano le lave montare o discendere incessantomente entro l' enorme caldaja. Ordinariamente si arrestavano a più centinaja di piedi sotto l'orlo del cratere; ma talvolta, ribollendo furiosamente, ne attingevano quasi la sommità. Era tale l' incandescenza di qnelle lave che, duranto la notte, la via che condnce dal vulcano alla città di Grenada, lunga circa 12 miglia italiane, era illnminata come durante la luna piena. Humboldt narra le avventure di Fray-Blas, il quale si immaginò che quella lava così splendida fosse tntta oro bollente, e si accinse a tentarne l' estrazione. Secondo Humboldt qnel vulcano si sarebbe sponto dopo una vera eruzione, avvenuta probabilmento nel 1670, dopo aver durato almeno 140 anni in quella attivissima *fase stromboliana* [2].

631. Il più celebre, per la dinturnità e grandiosità dei fenomeni stromboliani, è il Kilauea dell' isola Hawaii. Qnesto vulcano figura come un cono laterale sul gran cono del Mauna-Loa, vulcano che si leva fino a 4194 m. (12909 piedi) d'altezza Il Kilauea non raggiunge cho l'altezza di 1110 m., e figura veramente come la bocca di un emuntorio laterale del gran vulcano, il quale, in luogo di chiudersi, come è il caso ordinario dei crateri laterali o avventizî, si mantiene attivo nella faso stromboliana. Attenendoci intanto ai puri fatti, il Kilauea, di cui il signor N. T. Brigham [3] ci dà un'e-

[1] *Viaggi alle due Sicilie*, vol II, pag. 56.

[2] Secondo Scrope, invece, il Masaya si sarebbe presentato al signor Squier, che lo visitò recentemente, quale lo vide Fernando Gonzales d' Oviedo.

[3] *Notes on the volcanic phenomena on the Hawaiian Islands*, Mem. Boston Society of nat. his. Boston, 1868.

satta pianta e una minuta descrizione, presenta un grande cratore elittico il quale, misurato appunto sulla pianta, ha un diametro maggiore di circa 6 chilometri, e un diametro minore di 4,170 m., quindi una circonferenza di circa 16 chilometri. Humboldt [1] lo descrive come un gran lago di lava, come uno Stromboli su scala gigantesca, ove la lava si gonfia e risiede alternatamente entro l'enorme recinto a pareti a picco, rimanendo sempre da 300 a 400 piedi al di sotto dell'orlo di esso. Secondo Brigham tali non furono mai lo condizioni del Kilauea nei tempi storici. Stando tuttavia alla descrizione che egli ne dà, il Kilauea potrebbe dirsi ancora un lago di lava, ma coperto, sulla maggior parte della sua superficie, da una crosta, sotto cui la lava ribolle, non rimanendo scoperta che sopra alcuni tratti, che si mostrano in fatti sotto forma di laghi di lava bollente. Brigham lo visitò due volte in questi ultimi tempi. Vapori acquei e vapori solforosi si alzavano in dense colonne dal fondo del cratere; ma non si udiva rumore alcuno. Discendendo dagli alti dirupi, che formano la parte nord-ovest del recinto, si riusciva sopra un piano, depresso soltanto 50 piedi sotto il recinto stesso. Quel piano può considerarsi come un prolungamento del cratere, che ne allungherebbe il diametro maggiore di un miglio, cioè di altri 1852 m. Esso era sparso di fumajoli di vapor acqueo così puro, che, condensandosi, formava degli stagni di acqua eccellente. Sul labbro a nord di questo stesso piano i fumajoli solforosi, sfuggendo a centinaja attraverso la lava decomposta, deponevano banchi di solfo. In alcuni luoghi le fessure si incrostavano di solfato d'ossido di rame, di solfato di soda, calce e allumina, lasciando libera la silice, che cementava il suolo, formando delle croste silicee. Una discesa di 400 piedi metteva sul fondo del vero cratere. Questo offriva una solida impalcatura di lava concreta, rotta da enormi crepacci, da cui uscivano vapori acquei, e irta di rupi e di coni di lava, uno dei quali era attivo, brillando di luce vivacissima alla sommità. La carta di Brigham nota due piccoli laghi di lava dal lato nord-ovest; ma l'Halemauman, cioè il gran lago di lava, si trova presso l'estremità sud-ovest. Questo lago figurava come un cratere in mezzo al cratere; aveva un diametro di 260 m. (800 piedi), e si sprofondava circa 17 m. La lava si scorgeva sul fondo, ma coperta anch'essa da una crosta. All'ingiro del cratere però la crosta era rotta, e qui vedevasi la lava rovente, che sorgeva con rauco suono. Il vapore, scoppiando dal seno del lago, lanciava in alto goccie di lava, le quali lasciavan dietro sè nel loro tragitto un filo di sottilissimo vetro. Talora due goccie, dipartendosi per diversa via, filavano insieme un capello della lunghezza di circa un metro.

[1] *Cosmos*. Vol. IV.

Quei fili sono noti appunto nell' isola sotto il nome di *Capelli di Pelè* (la dea dell' isola). Le pareti, che circondano il lago, ne erano interamente coperte. La lava, nell'atto che ribolliva dal fondo, era incandescente al color bianco, e apparentemente liquida come l' acqua; ma rapidamente diveniva viscida e quindi solida. Del resto il Kilauea è soggetto a continui mutamenti. Brigham lo visitò nel 1864; ma aveva subíto sensibili cambiamenti quando lo rivide nel 1865.

632. Bisogna però guardarsi dal credere che i fenomeni presentati dallo Stromboli, dal Masaya e dal Kilauea siano così eccezionali, da collocare quei vulcani in una categoria a parte. I descritti fenomeni sono presentati da tutti i vulcani, dato soltanto che, in seguito a un parossismo, durino un certo tempo in quella attività tranquilla, che caratterizza la fase stromboliana. L'unica differenza sta in ciò che, nei tre nominati vulcani le lave rimangono visibili nel loro stato di fluidità entro il cratere, mentre d'ordinario negli altri vulcani le lave, solidificandosi, formano un pavimento, il quale ricopre le lave ribollenti. I fenomeni, del resto, hanno luogo ugualmente: rigonfiamento della lava, scoppio di masse di vapore con detonazioni, getti di scorie e di lapilli. Ma questi fenomeni si manifestano attraverso il pavimento del cratere, mediante una o più aperture permanenti.

633. È questo il modo ordinario di presentarsi del Vesuvio nella sua fase stromboliana. Nel maggio 1834, p. es., il Vesuvio, descritto da Abich, presentava il cratere chiuso sul fondo da solido pavimento; ma esso pavimento era traforato da circa una ventina di orifizî, allineati sopra una retta, disegnanti una lunga crepatura. Ogni foro era sormontato da un piccolo cono, dell' altezza di 18 a 25 piedi, col proprio cratere imbutiforme. Ciascuno di quei coni rappresentava un piccolo vulcano in piena attività. Una densa colonna di vapori fischiava in modo assordante da ciascun cratere, e dilatavasi in una nube pesante, a riflessi di ogni gradazione. Lapilli e bombe piovevano ovunque all' ingiro [1].

634. Quando io lo visitai nell' ottobre del 1865, il cratere si presentava in forma di una voragine, di forse un chilometro di circonferenza, che si sprofondava in media circa 60 metri, cinto da pareti quasi verticali. Dal fondo del cratere sorgeva un cono, tutto composto di detriti incoerenti. Il vertice del cono era occupato da un' apertura, da cui svolgevasi incessantemente una nube di vapori. A intervalli di circa 15 minuti si faceva sentire dall' interno quasi un russare, o un qualche cosa di simile a un forte conato di vomito, ripetuto più volte, che terminava con una cupa detonazione. Nello stesso istante usciva dal foro un globo di denso fumo, come

---

[1] Abich, *Vues illustratives des phénomènes géologiques, etc.* Berlin, 1837.

quello che scoppia dalla bocca di un cannone. Una quantità di punti neri, e talvolta rossi, ossia del colore dei corpi arroventati fino al color cerasa, si disegnava sul fondo bianco della nube. Erano lapilli, che si sentivano ben tosto piovere sul cono interno, che si andava così elevando. Pochi giorni avanti la mia visita, un forte sgorgo di lava era uscito dall' orifizio, e distendendosi sul pavimento del cratere vesuviano, aveva cinto il cono interno quasi d' una laguna circolare, sulla quale si poteva già camminare come sopra un solido pavimento di ghisa. Dunque la lava ribolliva sotto il pavimento del cratere, come bolle all'aperto nello Stromboli e nel Chilauea, cogli identici fenomeni eruttivi, i quali si manifestavano attraverso quello spiraglio.

635. Sotto questa forma si presenta il Sangay, il vulcano più attivo d'America. È un monte colossale, che si leva all' altezza di 16068 piedi sul versante est delle Cordigliere. La sua fase stromboliana sembra datare dal 1728. Vortici di fumo svolgonsi continuamente dal suo cratere, con getti incessanti di ceneri e lapilli. Nei momenti di maggior impeto le pietre incandescenti sono lanciate fino all' altezza di 737 piedi. Le eruzioni si succedono a brevissimi intervalli, sicchè Wisse, nel 1849, ne contò 267 in un' ora.

636. Veniamo alla terza fase della vita di un vulcano. Se vedemmo alle violenti esplosioni tener dietro le dejezioni più o meno tranquille, ora troviamo che l'attività vulcanica si affievolisce sempre più. Le dejezioni sono cessate, le lave più non ribollono che lentamente nell'interno del cratere; le scorie natanti si riuniscono, si conglutinano; formasi una specie di pavimento in fondo al cratere, da cui emergono uno o più conetti interclusi, che rappresentano gli spiragli di una grande caldaja. Ma anche questi si ostruiscono. Gas e vapori formano infine una nube che oscilla sul cratere. Fumajole, sorgenti calde, mofette, vapori acquei, solforosi, idrogeno solforato, gas acido carbonico, solfo per effetto di sublimazione, ecco i prodotti non più d'un vulcano, ma di una solfatara. La solfatara rappresenta adunque un vulcano entrato nella *fase di semplice emanazione*, pronto però da un istante all' altro a ripigliare tutto il suo vigore, come avvenne della Solfatara di Pozzuoli, che esplose nel 1193. Il Vesuvio poi quante volte non ha presentato successivamente tutte le fasi vulcaniche? Si può dire che la sua caratteristica è quella appunto di riprodurre continuamente in sè stesso ciò che si direbbe la vita di un vulcano, passando, successivamente e gradatamente, dalla più violenta esplosione alla totale estinzione, per ridestarsi con una nuova esplosione, fin che sia una seconda volta estinto, per risorgere una terza, e così via via. Come l' ho visto nella sua fase stromboliana nel 1865, così lo rividi nella sua fase di

semplice emanazione nel giugno del 1869; però dopo che aveva emesso una grande quantità di lava nel 1868.

637. Tornandoci dunque nel 1869, trovai che il cono vesuviano era sormontato da una nube perenne, che il vento volgeva a sua posta. Avvicinandomi alla sommità della montagna, essa mi si presentò quasi un cucuzzolo coperto da un tappeto di verzura. L'illusione non fu diminuita gran fatto quando toccai l'altura. Le sublimazioni minerali, deposte dai vapori che trasudavano dalla vetta, avevano coperto di cristalli tutta la parte terminale del cono, sopra un'altezza di forse cento metri. Le erbe più molli, i muschi più soffici che rivestono montana pendice, appena possono dare un'idea di quella maravigliosa fioritura cristallina, a colori così vivi e così graduati, dal bianco al giallo, dal giallo al verde, all'aranciato, al vivissimo minio, che rivestiva tutto il cono all'ingiro, segnando con lembi più intensi le fumajole, e delineando tutta la spaccatura, che scendeva fino all'Atrio del Cavallo, dove erano sgorgate le ultime lave. Nè trattavasi soltanto di una efflorescenza superficiale. I cristalli dendritiformi formavano delle masse considerevoli, che si potevano staccare in grossi pezzi, somiglianti a morbide barbe, o ai pizzi dei licheni che crescono sugli abeti. Quei cristalli erano di diversa natura, cioè composti di diversi sali, dovuti alle diverse combinazioni dello solfo, del ferro, dell'ammoniaca. Io credo che poche volte siasi presentata l'occasione di ammirare uno spettacolo così imponente, per cui si può asserire senza esagerazione che l'attività di un vulcano in questa fase prossima all'estinzione, se è diversa, non è minore di quella che il vulcano stesso spiega nelle sue fasi d'eruzione.

638. Addentriamoci alquanto, seguendo lo Scrope, nell'analisi di questa fase interessantissima, che noi chiamammo fase di semplice emanazione. Lo sviluppo del vapore acqueo continua ad essere ancora la caratteristica di detta fase. Vapori acquei si sprigionano sia dalle correnti di lava che si vanno consolidando, sia dal cratere. Questi vapori sono sempre, secondo Scrope, accompagnati da sostanze minerali allo stato di dissoluzione, di sublimazione, o di gas permanente. Tali sostanze, in proporzione minima finchè i vapori si sviluppano in grandi masse, si accrescono mano mano che i vapori vanno diminuendo, fino al punto che non danno origine che a semplici *fumajoli*. I vapori, condensandosi al contatto dell'aria, abbandonano sul labbro dei *fumajoli* e delle fessure delle sostanze minerali. Tra le combinazioni dominano i solfati di calce, di magnesia, d'ammoniaca, di soda, di potassa, gli idroclorati di soda, d'ammoniaca, e il carbonato di soda.

639. Merita speciale menzione lo solfo puro, in cristalli o stalattiti, capace di formare ammassi ingenti, il che fe' dare ai crateri, che trovansi

in questa fase, il nome di *solfatare*. Alcuni crateri di Lipari, di Giava, di Quito, ecc., sono noti per questa particolarità.

640. Tra i prodotti metallici notiamo il ferro speculare, gli idroclorati di rame e di ferro, i solfuri di ferro e d'arsenico. Con tali elementi, uniti all'alta temperatura delle lave, non v' ha combinazione chimica che non possa aspettarsi; e lo studio di tali fenomeni è quello che ci può solo dare la chiave dei molteplici fatti che riguardano la teorica de' filoni. Due fatti, citati dallo Scrope, ci danno un'idea del come possono i minerali, prosi a diverse distanze e profondità, dar luogo, per semplice sublimazione, a depositi metallici che danno l' idea di veri filoni. Osservasi come il ferro speculare, così frequente nelle lave, trovasi ordinariamente negli strati superiori di una corrente, mentre nulla ne rimane negli inferiori. Evidentemente fu levato da questi, e deposto in quelli, per sublimazione. Alcune correnti dell'Etna sono ricche superiormente di ferro speculare, mentre inferiormente lo sono di ferro magnetico. Pare che il ferro magnetico, libero di volatilizzarsi in vicinanza della superficie, siasi ivi deposto sotto forma di ferro speculare o oligisto, mentre gli era impedito di far lo stesso nelle profondità della lava.

641. L' acido solforico, che si produce abbondantissimo dai crateri allo stato di solfatara, può dar luogo, secondo le circostanze, a diverse combinazioni. Il Taschem è un cratere-lago che esiste a Giava, con un emissario nell' oceano. Nessun pesce può vivere nè entro il lago, nè lungo l'emissario, tanta è la copia dell'acido solforico, che di continuo si mesce a quelle acque. Lo stesso dicasi del Rio-Vinaigre, che discende, secondo Humboldt, dal vulcano di Puracé. Or bene, l'acido solforico, combinandosi colla allumina delle lave, produce l'allume (solfato di allumina) che, trasportato dalle acque, può formare vasti depositi. Tale origine avrebbero le miniere di allume di Ungheria e d'Italia. L'istesso acido, unito alla calce, forma ingenti depositi di gesso. Da solo converte il ferro in pirite, o ne tinge le roccie in bruno, in giallo, in rosso, in verde, in bleu, secondo il differente grado di ossidazione.

642. Nasce ora il desiderio di sapere, se tanta attività genetica e metamorfica dei vulcani, nella loro fase di prossimo spegnimento, derivi dal vulcano stesso, cioè immediatamente dall'interno del globo, la cui attività continua a sfogarsi attraverso i minori spiragli, o sia proprio della lava, la quale si arresta nel camino vulcanico, e rimane, in masse certamente enormi, nelle interne fornaci, pronta a riversarsi ancora in mille correnti ogni qualvolta la tensione dei vapori ripristinata le riapra le sotterranee vie. I recenti studî di C. Sainte-Claire Deville e di O. Silvestri ci mettono in grado di rispondere al quesito. Risulta adunque che, nel processo

delle emanazioni gasose, poca parte ei ha l'interna attività tellurica, considerandola come isolata dalle lave. Le emanazioni vulcaniche sono il prodotto di una specie di processo, che potrebbesi chiamare di *secrezione chimica*, per iniziare e intrattenere il quale le lave hanno già abbastanza di attività in sè stesse, benchè isolate anche materialmente dal camino vulcanico e sottratte a ogni influenza interna. Riflettiamo però tosto come tale attività della lava non sia in fine che una manifestazione dell'attività interna del globo, che gliela ha communicata. Anzi l'attività delle lave è la stessa attività interna del globo, manifestata all'esterno colla effusione di quegli impasti, di cui consta probabilmente tutto l'interno del pianeta.

643. Ecco un riassunto dei citati studî sulle emanazioni gasose.

Quando la corrente di lava è in pieno corso, dice Silvestri, emana da tutta la sua superficie una nube bianca. Consolidandosi la superficie, le emanazioni si concentrano su alcuni punti, e stabiliscono i *fumajoli*. La loro temperatura varia da quella di gradi 60 a quella della lava incandescente. Col grado di temperatura si cambia la natura delle emanazioni. La scoperta è dovuta a C. Sainte-Claire Deville, il quale potè stabilire quattro categorie di fumajoli, succedentisi sulla lava della stessa eruzione, mano mano che progredisce il raffreddamento. Le esperienze del Silvestri sulla lava etnea del 1865 confermano in massima quanto fu stabilito dal Deville. Ben inteso che non si voglia di botto stabilire come fatto generale ciò che risulta da poche e parziali osservazioni. Silvestri stabilisce le seguenti quattro categorie di fumajoli.

1.ª *Categoria*. — Miscela di fumo o gas svolgentesi, o dalla lava nell'atto che sgorga dal suolo, o dai *fumajoli incandescenti*. Contiene: cloruro di sodio e di potassio con traccie di solfati degli stessi metalli alcalini; acqua, tenente in soluzione acido cloridrico e acido solforoso passante al solforico, con sali di potassa e di soda. La lava, raffreddandosi, si copre di uno straterello bianco, composto di carbonato di soda, cloruro di sodio e di potassio, e traccie di solfati degli stessi alcali. Il carbonato di soda si attribuisce all'azione dell'acido carbonico dell'aria sul cloruro di sodio. Aggiungi talvolta il cloruro di rame, in tenue quantità, che communica allo straterello una tinta verdiccia. Il deposito variava però di composizione sulla stessa lava del 1865. I *fumajoli*, che immediatamente si determinano al primo consolidarsi della lava, danno del fumo, ossia una miscela gasosa come sopra, e depongono ammassi delle stesse sostanze solide, che formano lo straterello incrostante. A 60 centim. di profondità in quei fumajoli Silvestri trovò una temperatura di circa 1000°. Al fumo bianco si associa una miscela, che si può dire aria, constando di 19 d'ossigene con 81 di azoto.

2.ª *Categoria.* — Dopo un certo lasso di tempo dacchè la lava è sgorgata (un mese e più, dice Silvestri,) i fumajoli descritti sono sostituiti da altri, la cui natura è in rapporto col grado minore di temperatura. Principale caratteristica sono i vapori di sale ammoniaco (cloridrato di ammoniaca) con vapore acqueo, acido cloridrico e acido solfidrico. Temperatura media 210°. Depongono ammassi di sale ammoniaco e sublimazioni di solfo.

3.ª *Categoria.* — Fumajoli acquosi; gli ultimi a comparire, dove la lava è già raffreddata da 100° a 50°. Puro vapore acqueo, con miscela aerea, ossia di ossigene e azoto.

Le tre categorie indicate si succedono tanto sulle lave espanse fuori dei crateri, quanto negli stessi crateri. Ma in questi, finita l'eruzione, si presentano altri fumajoli, costituenti una

4.ª *Categoria.* — Fumajoli idrocarbonici. Nella eruzione del 1865 non comparvero che alla metà di giugno. L'eruzione aveva cominciato col 3 febbrajo. Ai vapori acquei abboudanti si univa (oltre la solita miscela aerea di ossigene e di azoto con un po' di acido solforico) dell'acido carbonico in tenuissima quantità (dal 2 al 5 per 100 dei gas). Deville constatò la comparsa del gas acido carbonico come fenomeno finale nella eruzione del Vesuvio del 1861, e la ritiene in genere come segnale di finita eruzione. Le emanazioni di gas acido carbonico vanno considerate come l'ultima o, meglio, come la più persistente tra le manifestazioni dell'attività vulcanica, verificandosi anche pei vulcani spenti dai tempi preistorici, o anche fin da epoche geologiche anteriori all'epoca attuale.

644. La seguente tabella riassume i caratteri dei fumajoli appartenenti alle quattro categorie.

Fumajoli secondo O. Silvestri.

1.ª *Categoria.* — Temperatura di 1000°.

Aeriformi.

Vapore acqueo.	Gas acido cloridrico.
Gas azoto.	» acido solforoso.
» ossigene.	

Solidi volatilizzati e sublimazioni.

Cloruro di sodio.	Ossicloruro di rame.
» di potassio.	Solfato di soda.
Ossido di rame.	Carbonato di soda.

2.ª *Categoria.* — Temperatura media di 210°.

Aeriformi.

Vapore acqueo.	Gas acido cloridrico.
Gaz azoto.	» acido solfidrico.
» ossigene.	

Solidi volatilizzati e sublimazioni.

Cloruro di ammoniaca (sale ammoniaco).
Sesquicloruro di ferro.
Sesquiossido di ferro (ferro oligisto).
Solfo.

3.ª *Categoria.* — Temperatura di 100° a 50°.

Aeriformi.

Vapore acqueo.
Gas azoto.
Gas ossigene.

4.ª *Categoria.*

Aeriformi.

Vapore acqueo.
Gas azoto.
" ossigene.
Gas acido cloridrico.
" acido carbonico.

645. Ma cessano a poco a poco anche le emanazioni; le lave si decompongono in terriccio; il cratere si converte in una boscaglia o in uno stagno. Del vulcano più non rimane che la forma, e della sua attività restano tutt'al più testimonî le sorgenti termali e le esalazioni di gas acido carbonico. In questo stato il vulcano si dice *spento*. Lo è veramente? La storia ci dà di questa asserzione la più recisa smentita.

Tra le caratteristiche dei vulcani abbiamo citata l'*intermittenza a lunghi periodi*. Questa si verifica per tutte le sue fasi, non esclusa la fase d'estinzione. Più e più volte avvenne che vulcani, creduti spenti, si ridestarono improvvisamente. L'Epomeo d'Ischia fu in grande attività dal 36 al 45 a. C.; riposò quindi 13 secoli, fino alla grande eruzione del 1302. L'Ararat era ritenuto un vulcano spento fin dai tempi antistorici: eruttò vapori e massi nel 1840. La storia del Vesuvio è sotto questo rapporto immensamente istruttiva. Ma da essa e dalla storia di tutti i vulcani si finisce a dedurre non esservi nulla che sia più irregolare dell'intermittenza dei vulcani. Tutt'al più si possono tenere per sancite le seguenti leggi generali, che assumeranno una vera importanza, quando saremo ad indagare le cause dei vulcani:

1.° A lunghi periodi di riposo succedono grandi eruzioni.

2.° A violenti eruzioni succedono d'ordinario lunghi riposi.

3.° Le eruzioni che si succedono a brevi intervalli sono anche le più leggere.

4.° La durata di un periodo di attività è in ragione inversa della sua violenza.

Quand' anche però i vulcani si estinguano interamente (ciò che ormai può dirsi, come vedremo, de' vulcani che arsero nell'epoca terziaria), alcuni indizî di vulcanicità perdurano un tempo indefinito. Due sono gli indizî più persistenti dell'attività vulcanica, che la rivelano anche quando da secoli e da milennî non ha luogo alcuna manifestazione di vera vulcanicità. Sono: 1.° le sorgenti termali; 2.° le emanazioni gazose, e in modo particolarissimo, quella del gas acido carbonico.

CAPITOLO VI.

DELLA FORMAZIONE DELLE MONTAGNE VULCANICHE.

646. Visto in genere quale è il modo di agire dei vulcani, vorremmo ora analizzare quale sia per conseguenza il modo di essere delle montagne vulcaniche, la loro struttura, il loro modo di originare e di crescere, e di tutto ciò apprendere le ragioni, in guisa che possiamo distinguere dalle altre le eminenze vulcaniche, anche là dove è spento ogni fiato di vulcanismo. Cominciamo dall'origine e dalla forma del cratere, non quale appare, ma quale è realmente. Le eruzioni laterali al cono vulcanico, così frequenti, sono fatte per rivelarci appuntino ciò che riguarda la forma e, in parte almeno, l'origine del cratere. Il cratere, o principale o parassito, non è altro infine che la porzione esterna visibile di una fessura lineare, dove si determina l'eruzione. Non è assurdo il supporre, che possa aver luogo una esplosione al modo di una mina; e questa ha luogo certamente più volte, ma assai limitatamente, quando una massa di vapori si trovi adunata entro una cavità sotterranea. L'azione di una massa pastosa, o che tende a gonfiarsi per l'effetto di vapori disseminati nei piccoli vacui della massa stessa, e quindi a dilatare o rompere l'ambiente, è piuttosto paragonabile a quella dell'acqua nelle prove a freddo delle caldaje a vapore, che a quella del vapore condensato. Ad ogni modo i fatti provano che d'ordinario, e forse sempre, le eruzioni vulcaniche hanno luogo attraverso una fessura lineare, la cui formazione precede l'eruzione stessa. Ne abbiamo già citato diversi esempî, tra gli altri quello così parlante dell'Etna, espresso nella figura 52.

647. Suppongasi ora una fessura aperta nel cono vulcanico dall'alto al basso; si prolunghi anche, se vuolsi, dalla base del cono alla sua vetta, cioè al cratere terminale. I vapori, come vedemmo, sempre tendendo ad alzarsi, eromperanno a preferenza dalla parte più alta della fessura, mentre, per la sua stessa gravità, la lava si riverserà dalla parte più bassa. Se la fessura, per effetto della tensione interna, continua o anche crescente, si prolunga dall'alto al basso, lo scolo della lava seguirà esso

prolungamento; e siccome la dejezione della lava non ha luogo senza lo sviluppo di vapori esplosivi, che danno origine ai coni parassiti, questi si allinceranno successivamente essi pure dall'alto al basso. I fatti, che aggiungo ai già citati, provano questo vero fondamentale, che il cratere è una spaccatura lineare, sulla quale sorgono i coni, per l'accumulamento delle materie detritiche eruttate.

648. Nell'eruzione del 1536, dodici bocche si aprirono successivamente, l'una sotto l'altra, nel fianco dell'Etna, seguendo lo stesso raggio. Ciascuna diede il suo tributo di lava, mentre il cratere terminale vomitava vapori e scorie. Nel 1780 l'eruzione ebbe pur luogo da un cratere laterale; il suolo sfondato disegnava una fessura, che dal cratere laterale si prolungava fino al labbro del cratere terminale. Lo stesso avvenne nel 1792. La lava scolava dalla estremità inferiore della fessura, mentre dal cratere erompevano i vapori, finchè, cessata la lava, l'eruzione dei vapori avveniva dalla fessura. Fenomeni approssimativamente eguali si produssero nel 1809 e nel 1811-13, colla successiva formazione, sotto quest'ultima data, di sette orifizi laviferi, trasformati in altrettanti coni per l'ejaculazione delle scorie, in seguito alla dejezione delle lave. Nella terribile eruzione dell'isola Lancerote (1780) forse cento coni si produssero successivamente sopra una linea, che attraversava l'isola intiera.

649. L'esempio più classico è forse però quello offerto dallo Skaptar-Jokul nella smisurata eruzione del 1783. Essa eruzione non ebbe già luogo nè dal cratere, nè dai fianchi del cono, sibbene nel piano, al piede del cono stesso. Tre bocche si aprirono successivamente alla distanza di forse 18 miglia l'una dall'altra; una quarta si aprì in mare, sul prolungamento della stessa linea e alla distanza di 30 miglia, creandovi un'isola, demolita poi dall'azione erosiva delle onde. La fessura, indicata da quei quattro crateri, aveva almeno 160 chilometri di lunghezza, notando però lo Scrope, che la lunghezza della linea, su cui fu vomitata la lava, era di 320 chilometri.[1]

650. Pe' suoi particolari, minutamente descritti, in modo assai istruttivo da O. Silvestri, si raccomanda assai l'eruzione dell'Etna nel 1865. Il 3 gennajo di detto anno, alle 10 $^{1}/_{2}$ pom., in seguito a forti scosse e rombi sotterranei, una viva luce apparve alla base del monte Frumento, il più elevato tra i coni craterici sul fianco nord-est dell'Etna. Nell'istante che quella luce comparve, una larga fenditura si era aperta alla base di quel monte. Anzi il monte stesso fu letteralmente spaccato per lo mezzo da cima a fondo, e la spaccatura, da cui rigurgitava immediatamente la lava

[1] *Les volcans*, pag. 54.

nel principio dell' eruzione, era visibile sopra una linea di 380 metri, larga in media 15 metri. Come mostra la fig. 56, disegnata sui diversi dati offerti dal Silvestri nella sua Memoria [1] e nelle tavole che l'accompagnano, l'eruzione ebbe luogo all'estremità inferiore visibile della spaccatura. Partendo dalla base del monte Frumento, prima di giungere ai

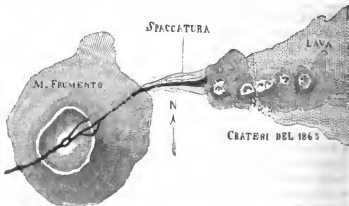



Fig. 56. Apparato dell'eruzione dell'Etna 1865.

crateri del 1865, vedesi la lava effusa immediatamente dalla parte più bassa della spaccatura. Ma essa spaccatura poi si continua con una serie di otto coni craterici, distribuiti sopra una linea flessuosa, in cui si prolunga evidentemente la linea pur flessuosa della spaccatura. La stessa spaccatura, prolungata verso l' alto, cioè verso sud-ovest, andrebbe al centro del cratere dell'Etna, confermando l'osservazione di Mario Gemellaro, che le eruzioni laterali di un vulcano si effettuano sempre sopra una linea, che rappresenta un raggio della montagna a cui il cratere serve di centro. Nota il Silvestri, come l' eruzione sia passata successivamente dai coni superiori agl' inferiori; indizio certo che la fessura continuava ad allargarsi verso il basso, e quindi sempre più basso si effettuava il drenaggio. La linea dei crateri misurava 800 metri. Bisogna aggiungere una linea di altri 200 metri al di sotto dei crateri, dove la spaccatura era indicata da una depressione riempita di lava. Per cui, tenuto calcolo dei 380 metri già indicati superiormente ai coni, la spaccatura misurava una lunghezza visibile di 1380 metri.

[1] *I fenomeni vulcanici presentati dall' Etna*, ecc. (Atti dell' Accad. Gioenia, Ser. III.ª Tom. I. 1867).

651. Il cratere non è dunquo altro che la porzione esterna, visibile, di una fessura lineare, dove si determina l'ernzione. Perchè allora il cratere ha forma circolare o subcircolare?

Cominciamo dai fatti. Nell' atto dell' eruzione si apre una fessura lineare. Tale fessura è descritta, anche dopo cessata l'eruzione, dalle fumajole allineate. L'eruzione naturalmente avviene in quella parte della fessura, dove si verificano le condizioni più propizie al suo sviluppo, segnatamente una maggiore larghezza. Potranno essere anche più di uno i punti dove si abbiano le condizioni richieste. In una eruzione avvenuta immediatamente dal suolo, non già da un cono precedentemente formato, a est dalla città di Leone (Nicaragua) nel 14 novembre 1867, si aperse una fessura della lunghezza di circa mezzo miglio. Il fuoco (intendi luce viva projettata sui vapori delle lave incandescenti [1]) usciva dalla fessura in varî luoghi. Nel corso di pochi giorni si determinarono sulla fessura due crateri, distanti l'uno dall'altro circa 1000 piedi, eruttando i soliti detriti. Scariche minori erano emesse da due o tre altre fessure laterali [2]. Ma cessata la prima foga dell'eruzione, ostruendosi, pel consolidamento delle lave, e pei detriti addòssati, le parti più anguste della fessura, l'eruzione si concentrerà in quel punto, che si è reso più favorevole dal concorso di tutte le circostanze. Ciò verificossi sempre, per quanto mi consta, e si verificò precisamente anche pel citato vulcano di Leone. Dice infatti il signor A. B. Dickinson, autore di quella descrizione, che visitando il vulcano nel 22 novembre trovò il cratere principale che funzionava attivamente: le materie eruttate avevano formato un cono alto circa 200 piedi, nel cui mezzo vaneggiava un cratere circolare di circa 60 piedi. L'altro cratere, eruttando assai obliquamente al primo, figurava piuttosto come uno scaricatojo laterale di esso, tanto più che le scariche erano affatto simultanee. Comunque sia, il caso è storicamente eccezionale, e, ripeto, le eruzioni finiscono collo sfogarsi da un solo cratere, il quale però spesso si sposta, segnando, come abbiam visto, un successivo prolungamento della spaccatura. Stabile o transitorio che sia il cratere da cui si sfoga, anche solo per qualche giorno, una eruzione, quale forma avrà?

652. Originariamente quella di un tratto di spaccatura lineare. Ma si pensi come il vapore si espanda egualmente in tutti i sensi, agendo meccanicamente con grande violenza. Le pietre slanciate alla distanza di molte miglia, quei nembi di detrito, che, ricadendo, improvvisano in breve ora

---

[1] Le fiamme, provenienti ordinariamente dall'accensione del gas idrogeno carburato, si osservarono più volte nelle eruzioni vulcaniche, ma devono sempre considerarsi come fenomeno eccezionale e accessorio.

[2] *Illustrated London News*, gennajo 1868.

una montagna, tutto in fine ci attesta il valore incalcolabile di questa azione meccanica. Il cono è spesso troncato; nelle nuove lave e nei nuovi detriti si trovano i frammenti delle lave antiche; nelle lave del monte Somma si trovano pezzi di calcari e altre roccie, che il vulcano strappò chi sa da quali immani profondità. In fine il vapore, sfuggendo violentemente dall'orifizio, lacera, sbrana le roccie all'ingiro; e agendo, come abbiam detto, in tutti i sensi, si può considerare veramente come un trapano mostruoso, che lascia un foro rotondo. Il cratere riescirà quindi, in massima, circolare. Consideriamo però che l'effetto meccanico sarà proporzionato, non solo al valore della potenza, ma anche al valore della resistenza. La resistenza sarà certo minore sulla linea della crepatura, ove si verifica una discontinuità; quindi su questa linea riescirà più profonda l'erosione. E il foro risulterà oblungo. Elittica, piuttosto che circolare, è la forma ordinaria dei crateri. Si osserva che nei crateri elittici l'asse maggiore è nel senso della spaccatura, tanto è vero, come attesta lo Scrope [1], che all'estremità del grande asse si scoprono incontestabili indizî di un prolungamento nella fessura, per la quale l'eruzione si è aperta la via. Questa particolarità era visibile nel cono del Vesuvio nelle eruzioni del 1822, del 1852 e del 1856, come attestano De-Ville e Roth.

653. Visto come si formi il cratere, si capisce come la sua ampiezza debba essere proporzionale, non già all'ampiezza originaria della fessura, ma alla violenza e alla durata del parossismo. Se un primo scoppio può decapitare il cono, l'azione continuata del trapano potrà sventrarlo, e allargare il foro in guisa che si dilati quanto la base del cono, e anche più

Fig 57. Vulcano Conseguina nell'America centrale.

se fa d'uopo (non essendòci un limito *a priori*), sicchè il cono scompaja e sia sostituito da una voragine craterica. La storia dei vulcani, per quanto

[1] *Les Volcans*, pag. 55.

si possa dire limitata a un pajo di secoli, ci narra diversi casi di ciò che venne chiamato, con parola molto espressiva, *sventramento di un vulcano*.

654. Una delle più celebri eruzioni di questo genere è la recentissima del Conseguina, avvenuta nel 1835. Questo vulcano, che sorge sulla penisola dello stesso nome, la quale difende a sud la baja di Franseca (Repubblica di San Salvador), non aveva dato nei tempi storici nessun indizio di attività. La mattina del 20 febbrajo 1835, a cielo limpidissimo, levossi, tra i lampi e i tuoni, una nube piramidale (*pino*) che, allargandosi a enorme altezza, involse il paese nella più fitta oscurità. Il suolo ondeggiava in preda a un continuo terremoto. Sabbie e ceneri piovevano fitte a enormi distanze. Era tale lo scompiglio della natura che le tigri venivano a cercare rifugio nelle città. Il parossismo durò violentissimo nei giorni dal 20 al 23 febbrajo. Nei tre giorni successivi continuarono a piovere le ceneri. I fenomeni sono descritti quali si mostrarono a chi fu spettatore della eruzione nelle città dell'Union e di San Miguel, distanti l'una 60, l'altra 90 chilometri circa dal teatro dell'eruzione. Lo strato di ceneri, cadute nella prima di dette città, acquistò uno spessore di oltre 13 centimetri, e di oltre 10 centimetri nella seconda. Anche a Guatemala, cioè a circa 40 chilometri dal vulcano, le ceneri piovvero continue, e gli scoppî fecero sospettare agli abitanti l'assalto di una flotta nemica. Le ceneri, del resto, coprirono un circolo, il cui raggio fu calcolato di 1000 chilometri, partendo dal vulcano come da centro. Sarebbe come se una eruzione del Vesuvio dovesse involgere nell'oscurità e coprire di ceneri, oltre l'Italia, buona parte della Francia, dell'Impero Austriaco, tutta la Grecia, parte dell'Asia minore, Algeri e gran tratto delle coste dell'Africa, e, per dir tutto in una sola volta, il Mediterraneo e le regioni circummediterranee. Nelle vicinanze del vulcano poi la copia dei materiali eruttati apparve veramente meravigliosa. Una foresta vergine, che circondava il cono, era scomparsa sotto il detrito. Le pietre accumulate all'ingiro avevano formato in mare de'bassi fondi, e fin due isole, o banchi di pomici, della lunghezza di 167 metri l'uno, e di 670 metri l'altro [1]. La forma attuale del Conseguina (fig. 57), che è quella di un cono troncato così presso la base, direbbe già per sè stessa, quando la storia tacesse, che quel vulcano fu demolito, sventrato, da un violento parossismo. Sventuratamente gli autori, che ci hanno forniti i particolari di quella celebre eruzione, non hanno visitato la sommità del vulcano; ma, giudicando dalla troncatura del cono, assegnerebbero al cratere 20 chilometri almeno di circonferenza.

---

[1] I particolari dell'eruzione e la figura del vulcano sono tolti dall'opera: *Mission scientifique au Mexique; Géologie*, par Dolfus et De Mont. — Paris, Serrat, 1869.

655. Un'altra terribile eruzione registrata dalla storia è quella del Papandayang, vulcano dell'isola di Giava. Accenno anche questa, perchè i suoi effetti ci daranno la spiegazione di certe forme delle montagne vulcaniche, che mi parvero troppo male interpretate.

Fig. 58. Piano del Vulcano Papandayang.

Prima del 1772, scrive Junghuhn, che ci presta anche la figura[1], il Papandayang era una montagna coperta di ricca vegetazione, e nessuno ci avrebbe sospettato un vulcano. Nell' 11 agosto di detto anno la montagna apparve fiammeggiante, in mezzo ai terremoti. Il vulcano *aveva buttato via il suo verde cucuzzolo;* quaranta villaggi erano scomparsi, e 3000 vittime umane immolate. La figura 58, delineata dall'autore, mostra a tutta evidenza, come la montagna fu aperta e sventrata non solo nel mezzo, come avviene ordinariamente, ma anche sul fianco nord-est, cioè sopra un lungo tratto della spaccatura che determinò l'eruzione. Attualmente per arrivare entro il circo, che più propriamente si chiamerebbe cratere, si penetra per una larga depressione, o valle, incassata profondamente fra pareti verticali. Questa valle termina a sud-ovest in un gran circolo, circondato da altissime pareti, e questo circolo è il cratere propriamente detto, cioè il centro più attivo della eruzione. Esso cratere si può dire allo stato di solfatara. Molti crepacci vi sono aperti, entro i quali si verifica un'altissima temperatura, e vapori solforosi ne sbuffano. In molti punti, il

[1] Junghuhn, *Reisen durch Java*, pag. 204 (tav. 18, fig. 2).

vapore stesso, ribollendo dal fondo pantanoso, vi crea dei vulcani di fango. Dal fondo medesimo scaturiscono parecchie sorgenti bollenti. Le acque pluviali, raccolte nell'ampio bacino, confuso colle acque sorgenti, danno vita a cento ruscelli che confluiscono a un torrente, il quale, uscito dal cratere terminale, giù scorre lungo la valle. Ecco un cratere formato attualmente, il quale mantiene, dirò esageratamente, la sua forma primitiva, quella di un'ampia squarciatura, rimasta aperta per difetto di successive dejezioni. Se il Papandayang si ridestasse, e continuasse le sue eruzioni sull'asse primitivo del cratere, un cono, come quello del Vesuvio, sorgerebbe, ove sgorgano ora i vapori, i fanghi e le acque bollenti. La cerchia montagnosa, che circonda attualmente la depressione, sui lati nord-ovest, sud-ovest e sud-est, diverrebbe il *recinto* di un cono, simile al monte Somma. Rimarrebbe però ancora sul lato nord-est una valle profonda, quale la vediamo realmente esistere sul fianco dell' Etna, ove è distinta col nome di *Valle-del-bove*. Ma di ciò più tardi.

656. Siamo dunque intesi circa l' origine, la forma primitiva o la forma consecutiva del cratere, che rappresenta, direi, la parte negativa, cioè il vuoto prodotto dalla eruzione. Intendiamoci ora circa l' origine o la forma della parte positiva, cioè del rilievo.

Quanto è il vuoto che si forma al di dentro, altrettanto deve essere il rilievo che si crea al di fuori. Gli è come esprimere, nel modo più semplice del pari che evidente, il fatto, che la montagna vulcanica risulta dalle dejezioni. Vi fu tuttavia chi volle cercare altrove le ragioni dei rilievi vulcanici, e preferì far nascere i coni immediatamente dalle viscere della terra, che si rigonfiasse e sorgesse a guisa di tumida vescica. La celebre teorica dei *crateri di sollevamento* interessa fenomeni ancora più grandiosi che non sia la formazione degli attuali vulcani. Interessa in genere la formazione delle montagne, la creazione degli attuali continenti, in fine tutto il complesso delle grandiose rivoluzioni, per cui rimutossi chi sa quante volte la superficie della terra. Questa teoria dunque, per sostenerla o abbatterla, va portata in un campo più vasto, nel campo della geologia, che abbraccia insieme il presente e il passato. L' osservazione ci fornisce, del resto, dei dati sufficenti per ispiegare la formazione dei rilievi vulcanici, senza invocare altro ajuto, oltre quello che prestano le sostanze eruttate dai vulcani, accumulandosi intorno all'orificio stesso del vulcano.

657. In che modo si forma o cresce la montagna vulcanica una volta che, per qualunque ragione, sia aperta una fessura, cioè formato un cratere? Possiamo distinguere tre categorie di fatti, per cui un cono vulcanico può avere incremento. Le *sovrapposizioni*, le *injezioni*, le *alluvioni*.

Con altre parole: il cono vulcanico cresce, cioè si alza o si amplia, o fa l'una cosa e l'altra insieme: 1.° per *sovrapposizione* dei prodotti delle dejezioni; 2.° per *injezione* delle lave dall'interno, attraverso le fessure della massa; 3.° per le *alluvioni* che accompagnano le eruzioni.

658. Non fa bisogno che di ricordare i fatti più volgari per intendere come ad ogni eruzione debba aumentarsi la massa della montagna, per la sovrapposizione dei nuovi prodotti di eruzione. Le pietre, le scorie, i lapilli, le sabbie, non sono che eccezionalmente slanciati fuori del perimetro della montagna vulcanica, sulla quale ricadendo, le danno aumento talora di assai considerevole spessore. Anche le ceneri cadono, ordinariamente, in gran copia sui fianchi del cono, e si accumulano spesso fin sul labbro del cratere. Anche le correnti di lava, se sfuggono spesso oltre i limiti della montagna vulcanica, dilatandone la base, molte volte si arrestano sui fianchi, sotto qualunque grado di inclinazione. Dissi sotto qualunque grado di inclinazione; poichè una lava molto vischiosa o prossima a raffreddarsi, può arrestarsi su qualunque erta, anzi pendere verticalmente a modo di stalattite; notandosi del resto che i massimi pendii raggiungono di rado i 45°. La somma d'incremento portato da una eruzione alla montagna vulcanica può dirsi essere enorme. Ove non bastino gli esempî già citati, eccone altri.

659. L'eruzione del Saugay (1842-43) die' per prodotto scorie e ceneri in sì gran copia, che la regione circostante rimase coperta, a una distanza di 20 chilometri, di uno strato dello spessore di 90 a 120 metri, secondo Wisse. Nell'eruzione del Tomboro (isola Sumbawa) del 1815, i tetti delle case furono, fino alla distanza di 60 chilometri, sfondati sotto il peso della cenere; senza contare le nubi di cenere, portate a 450 chilometri, abbastanza fitte per oscurare l'aria; senza contare le pomici galleggianti in mare all'ovest di Sumatra, formanti una massa dello spessore di parecchi piedi e dell'estensione di molte miglia. Il detrito eruttato, riporta Reclus, fu calcolato di 1400 miliardi di metri cubici, pari a 3 volte il volume del monte Bianco.

660. È per questo modo di incremento che la montagna vulcanica assume la forma di un cono. Tanto le lave quanto i detriti, uscendo da un orifizio, che serve di centro o a un espandimento lavico, o a un cumulo detritico, devono formare un rilievo conico. Pel primo asserto valga il fatto che la forma di un cono arrotondato è quella delle eminenze che vedonsi sorgere per le continuate dejezioni di lava dello stesso orifizio. La figura 59 rappresenta una di tali eminenze, che Bory de Saint-Vincent vide formarsi sul vulcano di Bourbon. Il disegno è preso dall'opera di Scrope [1].

[1] Scrope, *Les volcans*, pag. 75.

661. Ma le lave rappresentano in genere la parte minore delle materie eruttate da un vulcano. La parte di gran lunga maggiore è rappresen-

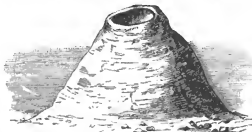



Fig. 59. Cono di lava sulla sommità del vulcano di Bourbon.

tata dai detriti, i quali, piovendo all'ingiro dell'orificio, e disponendosi secondo le leggi dei materiali incoerenti, formano un mucchio, cioè un cono, il quale si alza e si allarga, per la successiva sovrapposizione degli strati, che pigliano la forma di mantelli conici, quasi di campane, che si sovrappongono successivamente dalla più piccola alla più grande. La sezione di un cono vulcanico deve quindi mostrare una serie di strati sovrapposti, che inclinano dall'uno e dall'altro lato dall'asse centrale verso la periferia basilare, disegnando ciò che i geologi chiamano una *anticlinale*. Si avverta però che, nei violenti parossismi, il cratere si dilata talora enormemente. Finchè il parossismo dura, il detrito è spinto oltre la periferia del cratere, e finanche del cono. Diminuendosi però la violenza dell'eruzione, si restringe la cerchia di dejezione; sicchè giunge il momento in cui il detrito cade, parte dentro, parte fuori, dell'ámbito del cratere. Per tanto, mentre una parte forma uno strato sul pendio esterno, un'altra ne formerà uno nell'interno, che si disporrà a piano inclinato, formerà cioè una scarpa inclinata verso l'asse del cratere. Gli strati interni, in rapporto cogli esterni, creeranno ciò che i geologi chiamano una *sinclinale*.

La figura 60 è destinata a mostrare come avvenga di fatto quanto si è esposto in via teorica.

662. Il mare, scalzando a poco a poco la base dell'antico cono vulcanico, formante il Capo Miseno, mise in tutta luce questo artificio di naturale costruzione. La stratificazione esterna *anticlinale*, e la stratificazione interna *sinclinale*, non sono meno evidenti viste sul luogo, di quello che appajano sulla figura offertaci dallo Scrope.

663. La dejezione delle correnti di lava ha luogo ordinariamente da una fessura aperta nel fianco della montagna vulcanica, dapprima injettata

da fluida lava, quindi rigurgitante. Questa fessura principale di una massa rocciosa ne determinerà facilmente altre da essa radianti o dipendenti.

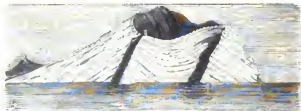



Fig. 60. Sezione naturale del Capo Miseno.

Tutte saranno injettate di lava che, non venendo in contatto coll'atmosfera, nè potendo quindi i vapori dilatarvisi, si raffredderà, offrendo la struttura la più compatta. I fatti rispondono pienamente a tale idee. La spaccatura apertasi nel fianco dell' Etna coll' eruzione del 1865, lunga 380^{m}, e larga in media 15^{m}, fu trovata da Silvestri per lo più riempita di lava, fino a rigurgitarne. Del resto appena l' erosione ponga a nudo una parte dell' interno di una montagna vulcanica, osservansi le *dicche* o

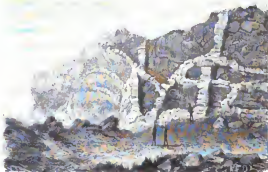



Fig. 61. Dicchi del monte Somma veduti dall'Atrio del Cavallo.

i *dicchi*, non altro che muraglie di lava compatta, che attraversano gli strati formati per *sovrapposizione*.

664. Sono famosi i *dicchi* del Somma, che si osservano dall'Atrio del Cavallo. Tali *dicchi*, larghi spesso parecchi piedi, si riducono altre volte alle proporzioni di semplici vene. Generalmente verticali agli strati che

intersecano, pigliano però anche diverse direzioni: si intersecano fra loro, si elevano visibilmente migliaja di piedi, e veggonsi benissimo qualche volta por capo ad una corrente di lava già da loro generata o nutrita. Compatte nell'interno, affettano sui lati, talora, una struttura più fina, talora sono, pur sui lati, laminate, accennando così allo sforzo esercitato contro la parete della fessura [1].

665. Non v'ha dubbio che i dicchi debbano portare incremento alla massa del cono. Anzi, formandosi essi ordinariamente, come osserva Scrope, nel senso verticale, attraverso gli strati di natara assai più incoerente, debbono aggiungere solidità alla moutagna, o fanno, dice lo stesso Scrope, le veci di chiavi, di travatura maestra dell'edificio.

666. La montagna vulcanica cresce anche per la sovrapposizione delle poderose alluvioni, che abbiamo visto accompagnare sovente le eruzioni vulcaniche. Osserviamo tuttavia como d'ordinario le alluvioni non sono altro in fine che i prodotti eruttivi sotto altra forma.

Gli abitatori dell' Etna hanno già nel loro linguaggio distinta la *lava di fuoco* e la *lava di acqua*, distinti, cioè, dalle vere correnti di lava quei torrenti di fango, ossia di cenere, sabbia e lapilli impastati coll'acqua, la quale o diluvia dal *pino*, o è prodotta dall'improvviso disgelo delle nevi, costituendo talora il fenomeno più imponente dell'eruzione. I diluvî, prodotti dal disgelo, sono un fenomeno caratteristico pei colossi vulcanici delle Ande, cho sovrastano di tauto ai limiti delle nevi perpetue. Una alluvione scese così potente da un vulcano dell'Islanda nel 1756, che, giungendo al mare, e perdendo quindi improvvisamente la forza di fluitazione, vi fabbricò, alcuno leghe lontano dal lido, tre promontorî paralleli.

667. Quanto alle vere eruzioni di fango dai crateri, fenomeno che replicossi le tante volte, i vulcanisti inclinano a non riconoscervi altro che il riversamento di crateri convertiti in laghi nei periodi di riposo, o di grossi corpi d'acqua raccolti nelle cavità delle montagne. Ma il fatto, già da noi annunciato, di una vera eruzione di corpi marini dal Vesuvio nel 1631, va ben altrimenti spiegato. Io non trovo nulla di strano in ciò, che si possa aprire, lateralmente al vulcano, una communicazione diretta col mare, e che la densa colonna di vapore, la quale si alza dalle viscere del vulcano, possa agire come tromba aspirante, e seco trascinare, nell'impeto del suo elevarsi, torrenti di acqua, per riversarle nel cratere. L'eruzione di Monto Nuovo fu, più che altro, una eruzione fangosa: in luogo di lava, vi ebbero ceneri impastate coll'acqua. Le alluvioni naturalmente si dilatano, a preferenza, alla base del cono; consisteranno in ceneri o sabbie fangose, in conglome-

[1] *Les Volcans*, pag. 62.

rati, ecc. L'indole alluvionale di tali depositi, e la natura vulcanica degli elementi che le costituiscono, presteranno facili caratteristiche per distinguere queste, direi, *roccie ibride,* sia dalle ordinarie alluvioni, sia dalle vere roccie vulcaniche.

668. Fin qui l'incremento e la curva delle montagne vulcaniche furono considerati come se le eruzioni avessero sempre luogo dallo stesso orifizio che rappresenta l'asse del cono. Per quanto siano varie e molteplici le eruzioni, e le fasi di ciascuna di esse, quando le dejezioni escano sempre da un centro, il cono sorgerà con quella regolarità che distingue i vulcani, o nati da una sola eruzione, come il Monte Nuovo presso Pozzuoli, o da una serie di eruzioni, persistenti nello stesso cratere, come il vulcano di Izalco.

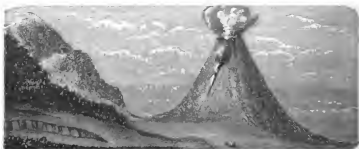



Fig. 62. Vulcano di Izalco nell'America centrale.

669. Questo vulcano (fig. 62) sorse d'improvviso, come il celebre Jorullo, alla fine del secolo scorso, e rimase poi sempre attivo. Fu nel 1770 che eruppe nel piano, che si stende al piede del vulcano Sant'Anna, a 20 chil. dal villaggio di Izalco nella repubblica di S. Salvador. La sua comparsa fu annunciata da rumori sotterranei fin dal 1769. Il 23 febbrajo 1770 una spaccatura si aperse nel suolo, e sgorgonne un fiume di lava, in mezzo al solito apparato di un violento parossismo. Cessate le lave, continuarono i detriti con getti intermittenti, con intervalli di 10 a 20 minuti. Quando Dollfus e De Mont-Serrat lo visitarono nell'anno 1865, il vulcano durava nella sua *fase stromboliana.* Dal centro del cratere, ove si sprofondava un pozzo di inapprezzabile profondità, usciva il fumo, fra un rantolo continuo, interrotto, a intervalli misurati, da detonazioni, seguite da esplosioni più violenti di vapore. Il cono, ritto sopra un piano inclinato, dal lato sud, ove più basso è il livello di esso piano, raggiunge un'altezza di 350 a 400 metri, mantenendo una tale regolarità, che quella montagna, dicono

gli antori, sembra fatta al torno [1]. Se un vulcano ha potnto in nn secolo edificare un cono di 400 metri d' altezza, non farà meraviglia se un altro vulcano qualunqne, attivo da molte migliaja di anni, possa rizzare nn colosso delle dimensioni dell' Etna, senza ricorrere allo straordinario ajnto di un sollevamento.

Il Cotopaxi e l'Orizaba (America centrale) sono coni di una distinta regolarità, benchè abbiano l' nno 5700^{m}, l' altro 5400^{m} di elevazione.

670. Come esempio di nn vulcano colossale, distinto per la sua ammirabile regolarità, presento il Fusiyama, la sacra montagna del Giappone,

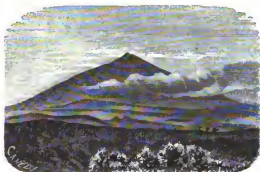



Fig. 63. Vulcano Fusiyama.

e lo scelgo di preferenza per figurarlo, essendo sicuro che le pendenze non sono, come pare avvenga di solito, esagerate nel disegno, pigliandolo da una fotografia recatami dal signor Ferdinando Meazza [2].

671. Se il cratere cambia di posto nelle diverse eruzioni, ne nasceranno infinite complicazioni nella interna architettura della montagna vulcanica. Immaginatevi quale debba essere la struttura dell' Etna, irta di cento coni alla superficie, che furono altrettanti centri di grandi eruzioni, senza contare i mille più antichi, che probabilmente scomparvero, sepolti dalle più recenti dejezioni. Ma in fine, se le eruzioni si ripetono in vicinanza l' una dell' altra, sopra nn' area limitata, ne risulterà sempre un cumulo,

[1] *Mission scientif. au Mexique*, ecc., da cui è presa anche la figura del vulcano. Avvertono però gli antori che l' altezza è esagerata d' un terzo, per cui riescono esagerate le peodenze spinte fino a 55°, meotre non sono io realtà che di 37° alla base e di 40° a 41° verso la sommità.

[2] Il Fusiyama ha un'elevazione di 3730 metri. È tronco alla sommità da un cratere ovale, longo 600 metri, largo 180 metri, profondo 350 metri. Le eruziooi storiche registrate sono quelle degli anni 799, 863, 937, 1032. L' ultima avvenne nel 1707 (Scrope, *Les volcans*, pag. 471).

cioè un cono, irregolare e complicato quanto si vuole, ma pure sempre un cono.

672. Del resto il rilievo vulcanico presenta un sistema estremamente mutabile. Un vulcano attivo non ci si presenta che in uno stadio parziale della sua vita avventurosa; in uno stato di transizione; in via di mutare di forma le mille volte in futuro, come l'avrà mutata le mille volte in passato. Ma le leggi che presiedono a tali mutamenti sono invariabili. Fondamentalmente tutti i vulcani sono uguali: ogni vulcano potrà quindi presentare successivamente le diverse forme, offerte contemporaneamente dal complesso di tutti i vulcani.

673. Chi legge, p. es., la storia del Vesuvio scritta da Roth [1], trova che esso, arrestato successivamente nei diversi stadi dall'eruzione del 79 fino a noi, presenterebbe, oso dire, tante forme diverse quante sono quelle dei diversi vulcani del globo. Tutto combina a far credere che prima del 79 esistesse quello che ora è chiamato Monte Somma, e allora si chiamava Vesuvio, sotto forma d'un gran cono regolare, come il Cotopaxi o il Fusiyama. Alcuni passi d'antichi autori ci portano a credere che vi esistesse alla sommità un cratere spento. Strabone, morto sotto Tiberio, descrive il Vesuvio « cinto di ricche campagne, eccetto la sommità, di cui la maggior parte offre una superficie piana, completamente sterile, che ha l'aspetto di un mucchio di cenere. Vi si osservano roccie di color fosco, che sembrano essere state consumate dal fuoco, e masse screpolate. Si direbbe che arsero un giorno, e l'incendio siasi spento dappoi per difetto di alimento [2] ». La grande eruzione del 79 ebbe per effetto lo sventramento di quel gran cono, cioè la creazione del grande recinto del Monte Somma, entro il quale sorse, per le successive dejezioni, il nuovo Vesuvio. Il Vesuvio d'allora, cioè l'attuale Somma, avrebbe presentato, così a un dipresso, la forma attuale del Conseguina (fig. 57). Nel centro del grande cratere durava l'attività vulcanica, già in via di creare il nuovo cono. Ciò si rileva abbastanza bene da un passo di Dione Cassio, che morì sotto Settimio Severo verso il 200. « Tutta la montagna era di uguale altezza, e la fiamma si alzava nel mezzo. Solo al centro il vulcano era infiammato; ma non si scorse fuoco all'esterno fino ai nostri giorni [3]. Siccome la parte centrale fu disseccata e ridotta in cenere, la sommità e il recinto conservarono l'antica altezza. Ma tutta la parte ardente si sprofondò progressivamente consunta; cosicchè tutta la montagna (si noti quest'ultima espressione) sembra un anfiteatro [4] ».

[1] *Der Vesuv*. Berlin, 1857.
[2] Il passo è riportato da Humboldt nel *Cosmos*. IV, pag. 475.
[3] Allude certamente a una qualche eruzione laterale avvenuta a' suoi tempi.
[4] *Cosmos*. IV, pag. 734

674. Il cono del nuovo Vesuvio, già in via di sorgere ai tempi di Dione Cassio, ebbe tutto l'agio di farsi gigante nei quindici secoli che corsero fra l'eruzione del 79 e quella non meno celebre del 1631. Ma la storia del vulcano si perde anch'essa nelle tenebre del Medio-evo. Il vulcano fu

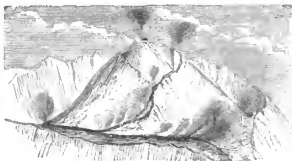



Fig. 64. Sommità del Vesuvio nel 1756.

tuttavia attivissimo, se in tanta scarsità di storici documenti Roth potè registrare almeno nove eruzioni.

All'epoca della grande eruzione del 1631 il Vesuvio attuale era formato. Il suo cono aveva allargato la base entro il recinto del M. Somma, e il suo vertice sorpassava di 40^m le maggiori vette di quella montagna. L'eruzione lo decapitò talmente, che rimase inferiore a quelle cime di 168^m. Da quell'epoca in poi il Vesuvio non ebbe più che brevi riposi. Le corte fasi di estinzione furono interrotte da un gran numero di forti parossismi, susseguiti da lunghe fasi stromboliane. Nell'ampio cratere, lasciato dall'eruzione del 1631, si generò un cono interno, che crebbe entro il recinto del Vesuvio, come il Vesuvio nel recinto del Somma. Nel 1689 il cono interno torreggiava sull'esterno; ma, sventrato da un parrossismo, vide poi crescersi nel suo cratere un terzo cono. Si videro dunque allora tre coni vesuviani concentrici, ben inteso non tenuto calcolo del quarto, pure concentrico, cioè del M. Somma. In questa condizione fu visto e figurato dal Hamilton nel 1756 (fig. 64). Continuando le dejezioni, il primo cono interno si fuse col secondo; il secondo col terzo; e il Vesuvio presentossi in forma di un sol cono regolare, alto 200 piedi sul primitivo livello. Ciò avvenne tra il 1737 e il 1767. Ma quel cono fu di nuovo decapitato dalla eruzione del 1804, perdendo 500 piedi di altezza. Nell'ampio cratere però rinasce un nuovo cono, che progredisce rapidamente, ad onta di avarie a cui è soggetto di tempo in tempo. Nel 1857 il Vesuvio era reintegrato nella sua conica unità. Una potente eruzione lo decapitò però nel 1861.

Il mio amico Taramelli, visitando il Vesuvio nell'estate del 1864, ne trovava il cono tronco da un vasto e profondo cratere affatto spento. Scarse fumajuole erano unico indizio che nol dicesse morto interamente. È dal fondo di quel cratere che io vidi sorgere il cono interno nell'autunno del 1865.

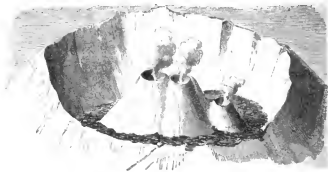



Fig. 65. Interno del cratere del Vesuvio nel 1843.

Questo cono continuò ad ingrandirsi, sicchè nell'estate del 1869, quando trovai il vulcano allo stato di solfatara, aveva riempito interamente il cratere primitivo, e sorpassava di forse 60^{m} il cono del 1865, il quale non era più accennato che da un rilievo semicircolare alla base del nuovo cono.

675. Sono innumerevoli del resto gli accidenti di forma presentati dal Vesuvio negli ultimi due secoli, in cui si distinse per una attività quasi continua. Rimarcheremo segnatamente quello della geminazione e della trigeminazione del cono interno, presentato nel 1843. Una forte eruzione aveva, nel 1822, sventrato il cono, distruggendo ogni interno apparato, e lasciando un ampio cratere affatto vuoto. Un piccol cono interno si vide ripullulare nel 1841, poi un secondo, poi un terzo; per cui ebbimo, entro il recinto vesuviano, 3 coni contemporaneamente, o piuttosto un cono trigemino, come è presentato dalla figura 65.

676. Questa breve rassegna ci porrà in grado di interpretare sotto il vero punto di vista le diverse forme dei vulcani, e di rimontare alla loro genesi. Molti vulcani, p. es., presentano la forma di un cono sorgente da un recinto, che ne circonda la base.

Il Picco di Teneriffa (fig. 66) offre l'esempio più classico della forma a *recinto*. Il Picco si eleva da un recinto semicircolare, del diametro massimo di 13 chilometri, il cui interno è a picco, alto, su alcuni punti, 2000 piedi. Ma a fianco del Picco sorge il Chahorra, emulo del primo per l'altezza, e dal quale solo si ebbero eruzioni ne' tempi moderni.

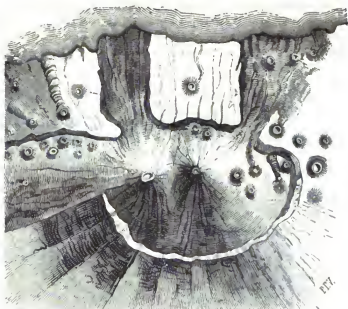



Fig. 66. Piano del Picco di Teneriffa e di Chaborra, secondo Piazzi Smyth[1].

Il vulcano di Bourbon (fig. 67) si rassomiglia affatto al Vesuvio. Il suo cono si eleva a 2300 metri da un vasto recinto; ma è trigemino alla sommità, stando al disegno di Bory de Saint-Vincent.

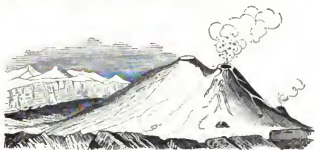



Fig. 67. Vulcano dell'isola Bourbon, secondo Bory de Saint-Vincent[2].

[1] La figura è copiata dall'opera di Scrope, *Les volcans*, pag. 199

[2] *Ibid.*, pag. 197.

Il più bell'esempio di vulcano a recinto è offerto dall'isola di Barren (fig. 68). È un cono regolarissimo, in piena attività, dell'altezza di 4000 piedi, che si eleva dal centro di un cerchio regolarissimo di roccie, rotto in un sol punto dal mare, che vi penetra, circondando il cono di una laguna

Fig. 68. Isola di Barren[1].

annulare. Quella cerchia di rupi non è altro che un recinto, cioè un antico cratere, del diametro di parecchie miglia, prodotto certamente da qualche straordinario parossismo, che, al dire di Scrope, fece saltare in aria un cono colossale. Il Pic de Fogo, altra delle isole del Capo Verde, è un altro vulcano permanente, il cui cono si eleva 7000 piedi di mezzo a una cintura basaltica, semicircolare, alta di 3000 a 5000 piedi. L'isola Nisyros nell'Arcipelago greco si direbbe *un recinto*, prodotto appunto da un grande parossismo, e che aspetta di venire occupato da un cono centrale. È in fatti un grande cratere, quasi circolare, il cui labbro si leva da 650 a 750 metri dal mare. Il più gran diametro è di 4800 metri, e trovasi attualmente ancora allo stato di solfatara. Anche l'isola Maurizio possiede un cratere, o recinto elittico, il cui piccolo asse è di 21 chilometri. È, credo, il massimo, che possano vantare i vulcani moderni.

677. Tutti i citati vulcani non son altro alla fine che il Vesuvio sorgente dal recinto del Somma. Continuando nella sua attività, un vulcano in queste condizioni deversa entro il recinto stesso i prodotti della sua dejezione. Naturale conseguenza sarà, che il vacuo tra il recinto e il cono centrale sia a poco a poco riempito, e che il cono centrale stesso, allargando le sue basi e alzandosi, venga a coprire, quasi conico cappello, il cono tronco che lo recinge. Il vulcano, demolito da un antico parossismo, sarà così perfettamente ristaurato. È il fenomeno che, in piccolo, verificossi già pel Vesuvio. Nel 1756 il cratere del Vesuvio cingeva, come d'ordinario, un cono interno, e questo, alla sua volta, cingeva un terzo cono centrale in attività. Colle successive dejezioni si fusero da prima insieme i due coni centrali, e questi finalmente si fusero coll'esterno, formando un sol cono, che crollò poscia nel 1779.

678. Il Tengghar di Giava presenta un vulcano, il quale comincia, dopo

[1] Figura copiata dall'opera di Scrope, pag. 200.

un formidabile parossismo d'epoca ignota, il suo lavoro di ristauro, che al Vesuvio costò diciotto secoli di lavoro attivissimo, e a lui può costarne mille, quando v' impieghi attività minore. Il Tenggher ha 2650^{m} di elevazione: eppure, tronco a quel modo, appare ottuso e sciatto. Erosioni della profondità di 100 a 180^{m}, ossia valli radianti dalla sommità

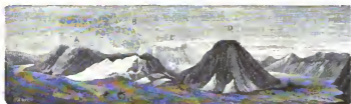



Fig. 69. Il vulcano Tenggher[1].

A. Segorowedi. C. Widodarin.
B. Bromo. D. Batok.

del cono, esprimono un lavoro di erosione acquea continuato chi sa per quanti secoli. Raggiunta la vetta del cono, o piuttosto il labbro della troncatura, l'occhio cade entro la cerchia di un immenso recinto, e vede in fondo distendersi, a perdita d'occhi, un vasto piano, un vero deserto di sabbie grigio-oscure, senza traccie di vegetazione, chiuso all' ingiro, a guisa di vasto anfiteatro, da pareti a picco, alte da 300 a 500^{m}, composte di strati vulcanici sovrapposti. Quello squallido piano detto il Dasar, disegna un'elisse, il cui diametro maggiore è di 8350^{m}, misurandone 6500^{m} il minore. La circonferenza sarebbe adunque di oltre 23 chilometri. Dal piano del Dasar sorgono quattro coni, allineati in guisa da segnare evidentemente una spaccatura. Tre di essi, il Segorowedi, il Widodarin, e il Batok, sono spenti, già coperti di verdi cespugli e di casuarine; il solo Bromo, alto 220^{m} è attivo, ed è dalla sua bocca che avvennero le eruzioni di cui si conserva memoria. Il signor E. Stöhr ci offre dei particolari interessanti circa le trasformazioni del suo cratere. Nel 1838 aveva la forma di un imbuto della profondità di 1500 piedi almeno, il cui fondo era occupato da un lago continuamente agitato. Una lunga eruzione avvenuta nel 1842 lasciò in fondo al cratere una impalcatura di lava semisolida. Ma questa impalcatura si sfondò più tardi. Nel 1844 i fenomeni del Bromo accennavano il termine di una fase stromboliana. Nel 1848 il cratere del Bromo era ancora un lago, da cui svolgevansi i vapori. Nel 1858, quando fu visitato dallo Stöhr, il lago era scomparso, e ritornata l'attività stromboliana.

[1] La figura 69 e la descrizione sono tolte dall'opuscolo di Emilio Stöhr, *Il Vulcano Tenggher*. Modena, 1867.

679. Il descritto vulcano, meglio ancora che il Vesuvio, ci rende ragione dell' altro fenomeno presentato da alcuni vulcani, quello della geminazione dei coni. Supponiamo che, oltre il Bromo, uno o due altri dei quattro coni del Tenggher si conservassero attivi. Ne nascerebbe un sol cono gemino come il Picco di Teneriffa, o trigemino come il vulcano di Bourbon. Trattasi in fine di spiragli, appartenenti all' istessa fessura, i quali possono sorgere vicini e fondersi entro il cratere recinto, come i due del Picco di Teneriffa, i tre del Bourbon, i quattro del Tenggher, o sorgere sui lati, come i cento coni dell' Etna, o anche portarsi fuori del perimetro basilare del vulcano, nel caso che la spaccatura lo oltrepassi, come accadde nella già citata celebre eruzione dello Skaptar-Jokul.

680. Ciò vi dispone a considerare una serie di vulcani allineati in un distretto, come un solo vulcano, e più serie vulcaniche, continuate sopra la stessa zona vulcanica, come un solo sistema di vulcani. Data una fessura di lunghezza indefinita, se l'attività vulcanica persiste sopra un sol punto, genera un vulcano; se persiste o si ripete sopra più punti, genera un vulcano gemello, una serie vulcanica, un sistema di vulcani.

Fig. 70. Pianta di Vulcano e Vulcanello nelle Lipari [1].

L' isola Vulcano, una delle Lipari, è certamente un solo vulcano: eppure mostra ben distinti tre coni disposti sopra la stessa linea. Il cono che si vede nel mezzo sulla pianta (figura 70) è Vulcano, cratere attivo, che ebbe una eruzione nel 1775 e un'altra nel 1786. Ma questo cono sorge quasi sopra l' orlo inciso di un gran recinto, cioè sul labbro di un primitivo cratere, che afferma un antico parossismo d'epoca ignota, dopo il quale fabbricossi, sopra un fondo molto eccentrico, il nuovo cono. Un terzo cono craterico sorge ancora più eccentrico, sfuggendo ai limiti del primo e del secondo recinto. È Vulcanello, di cui si ignora l'epoca di nascita, sorto però certamente sopra la stessa spaccatura che diede origine ai due coni maggiori.

[1] La figura 70 è tolta dall'opera dello Scrope, pag. 194.

681. I recinti, come i crateri, hanno d'ordinario forma subcircolare o elittica. Abbiamo però veduto, come la forma elittica dei crateri può essere così esagerata, da accostarsi alla forma lineare, la quale dice lo sventramento di una montagna vulcanica essere avvenuto su tutta o su buona

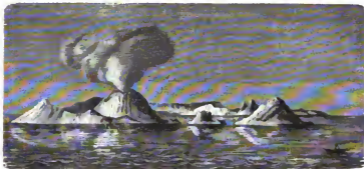



Fig. 71. Veduta dell'isola Vulcano [1].

parte della spaccatura aperta da un violento parossismo. Il Papandayang (§ 655) di Giava ci ha prestato un esempio storico, molto recente, della formazione di un cratere enormemente allungato. Questa stessa forma ci è presentata dall'isola Palma, vulcano spento delle Canarie. Quest'isola ha la forma di un cono oblungo, irregolare, tronco alla sommità, ove si inabissa un vasto e profondo cratere, detto la *Caldera*, del diametro di 5 a 7 chilometri, cinto da pareti a picco, che si alzano fino a 750^{m} dal fondo. Le parti più elevate di questo recinto si spingono fino all'altezza di 1400^{m} sul fondo stesso [2]. La *Caldera*, quasi circolare, è aperta verso sud-ovest, e si continua con una valle profonda, incassata come la *Caldera* in un prolungamento bilaterale del circo. Il fondo di questa valle è una angusta gora, detta *Barranco*, che scarica le acque della *Caldera*, discendendo fino al mare sopra una linea di 8 chilometri.

682. Dalla carta (fig. 72) e dalla veduta dell'isola (fig. 73), disegnata da De-Buch, risulta in fine come la *Caldera* e il *Barranco* costituiscano una sola depressione, una valle a fondo cieco, terminante in una depressione circolare, della forma ordinaria dei grandi crateri vulcanici. Come nel Papan-

[1] La veduta fu presa sul luogo dal mio amico Torquato Taramelli. Vi si distingue benissimo il cono fumante di Vulcano, ne' suoi rapporti col recinto, che lo stringe solo da un lato, e in disparte alla destra, l'estinto Vulcanello.

[2] Il fondo della *Caldera* è a 600 m. sul livello del mare; il labbro del circo a 1350 m.; i picchi più elevati a 2000 m.

dayang, la porzione terminale, crateriforme, sarebbe il vero cratere; ove trovossi condensata l' attività maggiore, durante il parossismo. Ma anche qui il cono fu squarciato da cima a fondo, e sventrato su tutta la linea della spaccatura. Certamente, stando ai dati offertici da Lyell, l' azione torren-

Fig. 72. Carta della Caldera e del Barranco dell' isola di Palma [1].

ziale valse a modificare potentemente la forma primitiva della spaccatura. Ma in qual modo avrebbe potuto essa medesima dare origine al *Barranco?* L' isola è tutta all' ingiro solcata da valli, radianti dalla sommità verso il perimetro del cono: queste valli si devono certamente ripetere dall' azione erosiva delle acque. Ma perchè sul lato sud-ovest soltanto l' azione erosiva avrebbe scavato una valle, che incide il cono quasi da cima a fondo? Qui

[1] Il *Manuale* di Lyell contiene una minuta descrizione dell' isola. Le due figure sono copiate da quest' opera.

si tratta certamente d'una spaccatura, tutta d'origine vulcanica; cioè di un cratere lineare, come quello del già nominato Papandayang [1].

Fig. 73. Veduta dell'isola Palma, secondo De-Buch.

683. Se, in seguito a nuove eruzioni, un cono sorgesse nel punto centrale della montagna, che più propriamente si può chiamare cratere, l'isola Palma e il Papandayang assumerebbero la forma dell'Etna. L'antico cratere, cioè, diverrebbe un recinto, entro il quale sorgerebbe il nuovo cono, lasciandosi però su di un lato il prolungamento lineare dello stesso antico cratere, in forma di *Barranco*.

Fig. 74. Carta del cratere dell'Etna o della Valle-del-Bove [2].

684. Tale è la forma dell'Etna. La sua cima ha la forma ordinaria dei vulcani, quella cioè di un cono regolare, tronco alla sommità, ove si sprofonda l'attuale cratere attivo, relativamente piccolo. Ma questo cono terminale è basato sopra una piattaforma annulare, detta Piano del lago, la quale, prescindendo dal cono superiore, termina il gran cono dell'Etna

[1] L'isola Palma è vulcano ancora attivo. La storia registrò delle eruzioni, le quali però non avvennero entro la *Caldera*, ma sul lato più meridionale dell'isola.

[2] Questa figura è disegnata sulla carta annessa alla memoria di Silvestri, *I fenomeni vulcanici*, ecc., la quale carta fu fotografata sulla celebre carta del barone Sartorius de Waltershausen.

con una vasta troncatura. Il Piano del lago, per la sua posizione e per la sua forma, figura veramente come il labbro, ancora apparente (benchè coperto da grandi strati di detrito vulcanico) di un gran recinto. Ma sul lato sud-est esso recinto è rotto da un abisso laterale, che si prolunga fino alle falde del gran cono etneo, e si chiama Valle-del-Bove. Ha difatti la forma di un'ampia valle, incassata fra altissime pareti a picco, e termina a fondo cieco alla base del cono terminale. La carta (fig. 74) mostra assai bene come le pareti della Valle-del-Bove si continuino, così dal lato nord, come dal lato sud, col rilievo della piattaforma, formando un solo sistema continuo, il quale, prescindendo sempre dal cono terminale, descriverebbe un vero recinto, esageratamente elittico, come il cratere, ossia la squarciatura, dell'isola di Palma e del Papandayang. Esportate il cono terminale, e il Piano del lago diverrà il labbro di un abisso, che chiude nel fondo una *Caldera*, con un recinto a pareti verticali, aperto da un lato, ove si si prolunga un *Barranco* (la Valle-del-Bove).

Infatti uno dei più brillanti risultati degli studî del Waltershausen, di Scrope, di Lyell, sarebbe appunto questo, che l'Etna è un cono centrale, sorgente da un vasto recinto, ora riempito e quasi obliterato. Il Piano del lago disegna, come dissi, la troncatura dell'antico Etna, che sorgeva fino all'altezza di 2200 m sopra il livello del mare, sottratto lo spessore dei recenti detriti sovrapposti. Dal recinto dell'antico Etna levossi l'attuale Mongibello, superando il labbro del recinto di 400^{m}, guadagnando cioè l'altezza di 3300^{m}, e lasciando vuoto da un lato un *Barranco*.

685. La fig. 75, che io copio dallo Scrope [1], è un profilo dell'Etna, presen-

Fig. 75. Profilo della regione più elevata dell'Etna.

tato dal Waltershausen sotto un punto di vista molto opportuno a far rilevare la costituzione dell'Etna, in conformità delle idee esposte. La piattaforma del Piano del lago segna quasi una retta, cioè il profilo di una larga base piana, da cui sorge regolarissimo il cono terminale.

[1] *Les Volcans*, pag. 191.

686. L'idea che la Valle del Bovo non sia che il prolungamento di un gran cratere lineare, della squarciatura, cioè, prodotta da quel parossismo d'età ignota, a cui si deve la troncatura doll'antico Etna; questa idea, dico, non è quella che sia ammessa da tutti. Anzi l'opinione universale è quella di Lyell, il quale ripete la Valle-del-Bove da uno sprofondamento laterale del cono etneo[1]. Ma io non vedo perchè si debba ricorrere a dei supposti, quando la storia nota del Papandayang narra, per dir così, tanto chiara la storia ignota dell'Etna. Si confronti la carta dell' Etna (fig. 74.) colla carta del Papandayang (fig. 58, § 655), poi mi si dica, se non si spiegano a vicenda, col più chiaro linguaggio. Il Papandayang racconta il passato dell' Etna, come l' Etna predice il futuro del Papandayang, nel caso che quest' ultimo vulcano si ridestasse, e nel suo cratere, ora allo stato di solfatara, sorgesse un nuovo cono.

---

[1] Il sig. Lyell si rifiuta a riconoscere nella Valle del Bove un recinto, adducendo per ragione, che gli strati non sono quaquaversali, ma tutti inclinati al mare verso est. Benissimo! La Valle-del-Bove non è un recinto, ma parte di un recinto; non è un recinto centrale, ma il prolungamento laterale di questo. Per vedere l'inclinazione quaquaversale degli strati, bisognerebbe che la Valle-del-Bovo si prolungasse fino al centro dell'antico cratere etneo: bisognerebbe cioè che esistesse ancora, non solo il *Barranco*, ma anche la *Caldera*. Questa invece è già occupata dal nuovo cono. Gli esempi di sprofondamenti citati da Lyell, come il crollamento del Cargnairazo (una delle cime delle Ande di Quito) avvenuto nel 1698, e quello del Capac-Urcu, che avvenne prima della conquista dell'America fatta dagli Spagnuoli, andrebbero depurati per bene, a fin di vedere se mai non si tratti di uno di quei decapitamenti o sventramenti, di cui la geologia e la storia ci danno tanti esempi, mentre la storia (parlo della storia guidata da buona critica) non ci dà nessun esempio di sprofondamenti del genere di quello supposto per l'Etna. L'unico esempio storico riportato da Lyell è la catastrofe del Papandayang: Ma non è un semplice terremoto, per cui, come dice Lyell, quella montagna si sarebbe sfondata. Abbiamo veduto trattarsi invece di una eruzione vulcanica, la quale non poteva essere meglio caratterizzata che dalle parole incisive di Junghuhn. Egli dice precisamente che nel 1772 questo ignoto vulcano buttò via il suo verde cocuzzolo (*seinen grünen Scheitel abwarf*); che si videro alzarsi le fiamme sulle montagne, *il cui tetto spaccato fu buttato lontano, e lontano all'ingiro volavano i brani rocciosi.* « Mann fühlte des Nachts plötzliche Erderschütterungen, vernahm ein unterirdisches Getöse und sah Flammen aus dem Berge steigen, dessen zerborstene Decke hinweggeschleudert wurde. Weit umher flogen die Steintrümmer. Wierzig Dörfer wurden überschüttet und 3000 Menschen kamen um. » (*Reisen durch Java*, pag. 209).

CAPITOLO VII.

VULCANI SOTTOMARINI.

687. I fenomeni vulcanici, come l'orografia e la geologia dei vulcani, furono finora studiati unicamente in quanto si presentano sulla superficie asciutta del globo. Noi ci occupammo dei vulcani subaerei, senza badare se esistessero dei vulcani sottomarini, e se questi, esistendo, si comportassero perfettamente come gli altri. Ecco una nuova pagina da leggersi, assai più breve, ma fors'anche più importante, per la geologia teorica.

Vulcani sottomarini certamente esistono, e sporsero già il capo le cento volte dalle onde, dando origine a quelle effimere isolette, che si dissero

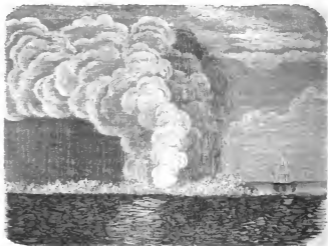



Fig. 76. Eruzione dell' isola Sabrina nelle Azzore.

isole nuove. In vicinanza delle isole Azzore, p. es., tali fenomeni ebbero luogo molte volte, posteriormente alla loro scoperta.

688. Ciascuno si avvede facilmente che in questi casi i vulcani acquistano

nn'importanza speciale, formando depositi in mare, e influendo in diversi modi sulla costituzione dei depositi, sul rilievo del fondo marino, e sugli organismi che gli sono legati. Anche i vulcani più lontani dal mare, gli tributano, con frequenza maggiore o minore, i loro detriti. Un tributo di detriti o di correnti di lava gli è poi portato, quasi necessariamente, da ogni vulcano litorale, come l' Etna e il Vesuvio. Abbiamo veduto il Conseguina coprire di detrito un'area terrestre e marina pari in estensione al Mediterraneo e alle regioni circummediterranee. Ma nel caso di eruzioni sottomarine vi è qualche cosa di più immediato: i principali rapporti non si verificano più tra la terra e il vulcano, ma tra il vulcano e il mare. Vediamo in pratica alcune delle storiche eruzioni sottomarine, per cavarne le deduzioni più importanti. Celeberrima è quella che diede origine all' isola Sabrina.

689. L'ultimo di gennajo 1811, un violentissimo terremoto scosse l'isola di San Michele (Azzore), che il giorno seguente trovossi avvolta da un nembo di soffocanti vapori solforosi. A due miglia dal lido manifestossi tutto l'apparato di una imponente eruzione; vapori, fumo, fuoco, ceneri, formavano una densa nube, che, levandosi dal mare, pigliava l'estensione di parecchie miglia. Dalle nubi grandinavano in mare lapilli e scorie; i pezzi di lava venivano slanciati fino all'altezza di 2000 piedi. Il parossismo durò 8 giorni, e cessò lasciando un nero scoglio, contro cui si frangevano le onde del mare. Ma il 13 giugno, eccoti nuova e più violenta eruzione, che durò parecchi giorni. Cessata ancor questa, un'isola nuova, in figura di cono tronco e cavo, una bella cerchia, del giro di circa un miglio inglese, cingeva una laguna bollente, levandosi da un lato all'altezza di 300 piedi, ed inchinandosi verso il lato opposto, ove era rotta, in guisa che il mare vi entrava liberamente. Il capitano Tillard fu appena in tempo a figurarla, a descriverla, e a nominarla *Sabrina*, dal nome del suo bastimento. Nel 1812 il mare se l' aveva ripresa. Qui abbiamo dunque una vera eruzione sottomarina, ma tanto prossima alla superficie del mare, che in 8 giorni il cono si era tanto elevato, da sporgere il giro più elevato del suo circo. In tanta prossimità della superficie la pressione idrostatica era vinta dalla tensione dei vapori, e una vera eruzione ebbe luogo con tutti i sintomi di una eruzione subaerea. Anche i materiali eruttati, caduti a sì poca profondità, non potevano deviare in guisa, che non si disponessero approssimativamente in modo da formare un cono, da foggiare un cratere. Una sola eruzione, e il cono emerge, la forma del cratere è perfetta, e compita è la metamorfosi del vulcano sottomarino in vulcano subaereo. Nella demolizione del cratere non aveto cho una prova di più che il cratere, o meglio il cono vulcanico, si forma di materiali eruttati, incoerenti.

690. Il caso della Sabrina, e quelli di diverse isole emerse in vicinanza delle Azzore, possono considerarsi come casi di eruzioni laterali, avendo luogo presso le coste di isole vulcaniche, o, per meglio dire, di vulcani insulari. Altre eruzioni vulcaniche sottomarine si presentarono in rapporti ancora più immediati con vulcani già noti, figurando come eruzioni intercrateriche, come vulcani erumpenti entro un recinto. Così l'isola di Santorino nell'Arcipelago Greco non presenta che un *grande recinto*, occupato dal mare, ove ebbero luogo in tempi storici diverse eruzioni che crearono diverse eminenze o isole nuove. Nel 186, avanti Cristo, apparve Hiera, nel 19, dopo Cristo, Thia (la divina) che si fuse con Hiera, la quale ingrandì per novelle eruzioni nel 726 e nel 1427. Nel 1573, sorse Micra Kameni, vero cono craterico. Nel 1650 vi ebbe una eruzione laterale fuori del recinto, senza formazione di isola. Tra il 1707 e 1709 apparvero due nuove isole nell'interno, la Nera e la Bianca; questa prevalse su quella, e, fuse insieme, costituirono la Nea Kameni che ebbe delle eruzioni nel 1711 e nel 1712.

691. La recentissima eruzione, cominciata il 1.° febbrajo 1866, ripigliò, per dir così, il lavoro lasciato a mezzo dalle eruzioni che crebbero la Nea Kameni fra il 1707 e il 1713. Il primo scoppio ebbe luogo nell'ansa di Vulcano, cioè in un seno della Nea Kameni, il cui fondo trovavasi allo stato di solfatara, come lasciavano intendere l'alta temperatura delle acque che a volte a volte si manifestava, la colorazione delle acque stesse e le emanazioni di gas solfidrico. Il vulcano Giorgio, sorto in detta ansa, dilatando le sue basi, in breve si fuse colla Nea Kameni. Presso la stessa isola ne sorse un' altra (un altro cono vulcanico) detta Aphroessa; quindi un'altra, che nomossi Reka. Evidentemente qui si ripete il caso osservato più volte entro i recinti vulcanici, la nascita cioè di coni gemelli. Ma Giorgio, Aphroessa e Reka si fusero in uno, e si congiunsero alla vecchia Nea Kameni, la quale trovossi ingrandita d'assai. Una carta dell'eruzione, gentilmente communicatami dal signor Giulio Schmith direttore dell'Osservatorio astronomico di Atene, mostra come l'8 gennajo 1868 l'area della Nea Kameni era a un dipresso raddoppiata. La lava era ancora in movimento.

692. L'esempio più interessante, che ci offra la storia delle eruzioni sottomarine, è quello dell'isola Giulia, la quale, benchè in rapporto colla gran zona vulcanica dell' Italia, che termina in Sicilia, può veramente considerarsi come un vero vulcano sorto dall'onde.

693. L'isola Giulia sorse nel 1831 tra la costa sud-ovest della Sicilia e la costa più avanzata dell'Africa, a 30 miglia a sud-ovest di Sciacca. In quel luogo dove l'isola apparve, Schmyth aveva trovato una profondità di 100

braccia. Ritenuto che si parli di braccia marine inglesi, avremmo la non indifferente profondità di quasi 183 metri. Il 28 giugno, il bastimento di Pulteney Malcoln subì una scossa. Forse il vulcano era già in eruzione; ma l' altezza delle acque impediva una più valida manifestazione. Il 10 luglio, il capitano Carrao osservò un getto d'acqua dell' altezza di 18 metri, a cui tenner dietro colonne di fumo dell'altezza di 550^m^. Il Carrao non parla di lapilli, di ceneri, di fuochi, di ciò che costituisce una vera eruzione. Saremmo dunque a quello stadio, in cui il vulcano, per incremento o d'altezza o di violenza, riesce a sforzare la colonna d'acqua sovrapposta, in guisa che ne escano colonne di vapore ad intervalli, quali possono sfuggire da un condensatore.

Fig. 77. Eruzione dell' isola Giulia presso Sciacca.

694. Di ritorno dal suo viaggio, il 18 luglio, lo stesso Carrao scorse una piccola isola dell'altezza di 3^m^ 7, con cratere in piena eruzione, che continuò violenta sino alla fine del mese. Nessuna miglior prova, che il progresso dell'eruzione verso il tipo dell'eruzione subaerea, è in diretto rapporto colla diminuzione della profondità sottomarina dell'orifizio vulcanico. Sulla fine di luglio, l'isola misurava da 15 a 27 metri di altezza e $^3/_4$ di miglio di circonferenza; ma andava crescendo, e il 4 agosto aveva una altezza di 60 m. e una circonferenza di 3 miglia. La forma era approssimativamente quella dell'isola Sabrina. Il 25 agosto, la circonferenza dell' isola era ridotta a 2 miglia; il 7 settembre a $^3/_5$ di miglio e l'altezza a 33 m. Constava di sostanze incoerenti, cioè di strati di scorie, di pomici e lapilli. Nell'ottobre non emergeva dal mare che un piccolo mucchio roccioso, e nel 1832 non rimaneva che uno scoglio sottomarino. Dell' isola non restavano che i sette nomi, Nerita, Ferdinandea, Hotham, Graham, Carrao, Sciacca, Giulia.

695. In tutti i casi citati il vulcano, sottomarino al principio dell'eruzione, divenne subaereo in progresso: nè solo apparvero i fenomeni di una eruzione subaerea; ma il cono stesso sporse il capo dalle onde, e sarebbesi trasformato per sempre in vulcano subaereo, se la furia del mare non l'avesse impedito. Vi sono però dei pretti vulcani sottomarini, la cui furia

sia costretta a sfogarsi in seno alle onde? Quali caratteri avranno le eruzioni vulcaniche in questo caso?

696. Veramente l'isola Giulia trovossi, nel primo stadio della eruzione, nel caso richiesto, mentre dovette quel vulcano nel primo momento dell'eruzione, aprirsi alla profondità di 183 m. sotto la superficie del mare (§ 697). Abbiamo anche veduto come le sue prime manifestazioni furono assai deboli e incomplete, a giudicarne da ciò che potè prodursi all'esterno. Non vi era certamente una necessità assoluta che quel vulcano, o qualunque altro nelle stesse condizioni, una volta scoppiato, continuasse attivo, con tanta foga e così lungamente, da trasformarsi in vulcano subacreo, creando un cono, che dovette raggiungere l'altezza assoluta di 243 m.(183 m. di profondità sottomarina e 60 m. d'elevazione sul livello del mare), sicchè emergesse in forma di isola. Chi sa quanti vulcani esistono nelle condizioni dell'isola Giulia? Chi sa quanti esistono in profondità maggiori?

697. Nulla ci impedisce di supporre che i vulcani siano attivi a 1000, 2000 ed anche 7000 metri di profondità. Esiste, p. es., nell'Atlantico (0°,20 lat. mer., 22.° di long. occ.) una regione vulcanica, certo attivissima, che si rivelò già molte volte per diversi fenomeni, non però per una vera eruzione. Più volte i bastimenti, passando su quella regione, provarono delle scosse. Ciò avvenne per lo meno dodici volte dal 1747 al 1836. Nel 1806 Krusenstern vide elevarsi colonne di fumo dal fondo del mare, e nel 1836 si raccolsero due volte in quei luoghi delle ceneri vulcaniche. Se non vi ebbero eruzioni, certamente egli è perchè l'orifizio di quel vulcano, o di quei vulcani, è molto più profondo di quelli che diedero origine all'isola Sabrina e all'isola Giulia. Il vedere come, quando si parla di vere eruzioni sottomarine, si narra anche, forse senza eccezione, di formazione di isole nuove, pare certo argomento per dovere ammettere che una vera eruzione non possa aver luogo se non pei vulcani i quali sono più prossimi alla superficie del mare; che cioè una certa profondità sotto il mare può impedire la maggior parte o anche la totalità dei fenomeni apparenti della eruzione; che in fine l'eruzione, coi fenomeni esplosivi, l'eruzione di lapilli, di scorie, di sabbie, di ceneri, è carattere esclusivo dei vulcani subaerei.

698. Ma questa questione, fondamentale per l'endografia, ha bisogno di ben altri elementi per essere approfondita. Non potendo noi portarci a studiare il fondo dei mari presenti, aspetteremo che la geologia ci abbia messo a nudo i fondi degli antichi mari d'onde sbucarono gli antichi vulcani sottomarini. Allora potremo cavare miglior partito anche da quei dati offertici dalla dinamica terrestre, sui quali basandoci unicamente, non potremo inoltrarci che di pochi passi nell'argomento.

699. Conchindendo da questo breve studio sulle attuali manifestazioni dei vulcani sottomarini, possiamo fissare in alcuni punti i rapporti in cui si trovano fra loro il mare e i vulcani.

1.° Per l'immediata dejezione dei vulcani terrestri, litorali, sottomarini, si formano attualmente in mare depositi vulcanici, che il mare può modificare e disporre colle leggi stesse con cui modifica e dispone i depositi di qualunque provenienza.

2.° L'azione erosiva del mare, esercitandosi sui vulcani litorali o insulari, e demolendo i coni d'origine sottomarina, crea nuovi depositi, che, conservando mineralogicamente la natura vulcanica, si presenteranno del resto come sedimenti marini ordinarî.

3.° I vulcani creano nuove terre, o pel prolungamento delle coste entro i dominî del mare, o anche in seno al mare immediatamente, colla accumulazione dei materiali eruttivi.

CAPITOLO VIII.

RAPPORTO DEI VULCANI FRA LORO.

700. Discorremmo sempre dei vulcani, considerandoli isolatamente nella loro individualità, o tutt'al più confrontandoli l'uno coll'altro. Ma i vulcani sono realmente isolati? ovvero sono fra loro in diretto rapporto, costituendo dei sistemi vulcanici, fors' anche un gran sistema vulcanico, che di tutti i vulcani costituisce un solo grandioso fenomeno tellurico, una sola manifestazione dell' attività interna del globo? Nella prima ipotesi, dovremmo cercare la causa di ciascun vulcano in qualche agente immediato, sotto ciascun camino vulcanico; nella seconda dovremmo cercare una causa generale, un vero agente tellurico, che dia spiegazione dell' esistenza di tanti vulcani, e risponda di tutti i fenomeni vulcanici. I nostri predecessori, pei quali tutti i vulcani si riducevano al Vesuvio, all'Etna, e a poche altre manifestazioni nel Mediterraneo, non potevano nemmeno proporsi la seconda ipotesi, la quale invece si presenta spontanea, e già in via di soluzione in senso affermativo a chi sappia gremite di vulcani le coste dell'Antico come del Nuovo Mondo, e sparsi di vulcani l' Atlantico, come l' Oceano Indiano, e il Grande Oceano. Consideriamo dunque ora i vulcani, nei rapporti fra loro, e vediamo se possono distinguersi in più sistemi o unificarsi in uno solo.

701. L' ingente numero de' vulcani basta a farci persuasi che ai vulcani va attribuito il valore di un vero fenomeno tellurico, di una grande manifestazione della potenza generale del globo. Humboldt ne novera 407, di cui soli 225 diedero storici indizi di attività. L'*Atlante di geografia fisica* di Keith Johnstone (1859) offre un catalogo di 270 vulcani attivi, di cui 190, almeno, nelle isole o sulle coste dell' Oceano Pacifico. Scrope riflette che un tal numero deve essere assai inferiore al vero, tenendo calcolo delle regioni sconosciute del globo, e sopra tutto della immensa estensione de'mari, che cela al certo, come già dicemmo, un gran numero di vulcani sottomarini, della cui esistenza non possono che assai difficilmente, e per pura eventualità, raccogliersi indizi.

702. Ma ciò che val meglio a farci presentire gli intimi rapporti de' vulcani fra loro, e sperare quella, che si direbbe una sintesi vulcanica, è la distribuzione topografica de' vulcani stessi. Osservo primieramente che, per la quasi totalità, i vulcani sono insulari o distribuiti sulle coste, cioè vicinissimi al mare. Che? Il mare darebbe alcuna ragione dell'esistenza dei vulcani? Che le eruzioni vulcaniche siano modificate dalla presenza del mare (come nei casi abbastanza provati di un immediato riversamento di acque marine nel focolare vulcanico, e in quelli già studiati delle eruzioni sottomarine), ciò si può e si deve ammettere. Ma trattasi di fenomeni conseguenti; poichè, del resto, non vedrebbesi quali rapporti possa avere il mare col complesso de' fenomeni vulcanici, con quelli specialmente che possono dirsi costitutivi. Inoltre faccio osservare che molti vulcani sono intercontinentali, o a tale distanza dal mare, da togliere ogni probabilità di un immediato rapporto con esso. Infatti i casi in cui si sarebbe rivelata una diretta communicazione tra il mare e il focolare vulcanico, sono così eccezionali, da essere ancora ricevuti dai fisici col massimo riserbo, o colla assoluta incredulità. Che la notata ubicazione de' vulcani in prossimità del mare debba avere una ragione, e che noi dobbiamo trovarla, va benissimo; ma che il mare stesso la dia, ciò è quanto non possiamo nemmeno sospettare.

Veniamo ora ai particolari circa la distribuzione dei vulcani sulla intera superficie del globo.

703. Primieramente non troverete mai un vulcano che si possa dire assolutamente isolato. Ogni vulcano appartiene ad un distretto vulcanico, e fa parte di un sistema, d'un gruppo, di una catena di vulcani. Il Vesuvio, p. es., appartiene al distretto vulcanico di Napoli, ossia de' Campi Flegrei, dove ebbero luogo, in tempi storici, eruzioni diverse, formazioni di nuovi coni e di nuovi crateri. Ma gli stessi Campi Flegrei appartengono a una gran zona vulcanica, che si allinea alla base del rilievo degli Appennini generalmente dal lato di sud-ovest[1]. Appartengono a questa zona, noverandoli da nord a sud, i gruppi vulcanici, attivi o spenti, del lago di Bolsena, di Viterbo, del lago di Bracciano, dei colli Laziali, di Ticchiena e di Pofi, del gruppo delle isole Pontine, d'Ischia e Procida, dei Campi Flegrei (compreso il Vesuvio), del Volture, delle isole Lipari, dell'Etna, dell'isola Giulia.

704. È vero che l'attività vulcanica è limitata a pochi punti sulla linea descritta. Ma, se noi siamo nati troppo tardi per assistere alle eruzioni preistoriche dei vulcani romani, napoletani, siciliani; i coni, i crateri, le correnti di lava, le scorie, le sabbie, le ceneri, costituenti una gran parte dei

[1] Dal lato sud-est vi sono il Vulture e l'Etna.

territori menzionati, ci parlano più chiaro della storia. Per dire che quei coni, quei crateri, sono coni e crateri vulcanici precisamente come i coni e i crateri del Monte Nuovo, d'Ischia, del Vesuvio, dello Stromboli, dell' Etna, della Giulia, non fa bisogno di penetrare nei misteri della geologia: basta il senso comune.

705. Come i vulcani dei Campi Flegrei, come, più largamente, i vulcani attivi o spenti d'Italia, tutti i vulcani del globo sono distribuiti in modo, da costituire delle serie lineari, ordinariamente d'una meravigliosa regolarità. Se mi si permette la similitudine, direi che i vulcani, distribuiti sopra linee regolari, ordinariamente sui limiti dei continenti, figurano come le bottonature, o meglio le occhiellature, lungo i petti di un abito. Si nota che le linee vulcaniche sono tanto più semplici e regolari, quanto più lo sono quelle dei rilievi orografici. L' America, specialmente l' America centrale e meridionale, è distinta per la semplicità, pari alla grandiosità di quel grande rilievo lineare, che, quasi una muraglia continua, si rizza sui limiti fra l'Oceano Pacifico e il continente. Or bene, i numerosi vulcani dell'America costituiscono un certo numero di linee, le quali prolungandosi sopra alcune discontinuità, segnerebbero una sola grande linea, parallela alla grande catena, condotta anzi sull'angusta zona che separa la grande Cordigliera dalla linea parallela del litorale del Pacifico.

706. Si vollero distinguere i *gruppi* vulcanici dalle *catene* vulcaniche. Ma i gruppi e le catene non presentano termini pari, per venire assunti a indicare due categorie di vulcani. Il gruppo d' Islanda, p. es., si vede che entra anch' esso in rango con altri vulcani, per costituire una serie lineare. I gruppi stanno alle catene, come le parti al tutto. Se pare troppo spinto il diro, che il gruppo dei vulcani d' Islanda figura come un anello di una catena atlantica, la quale comincia coll' isola Jan Meyen, e si continua coll' Islanda, quindi, sempre verso sud colle Azzore, colle Canarie, colle isole del Capo Verde, ecc.; avverto che io ho ricorso all'esempio, che si direbbe il più ardito nella teorica. Altrove la pertinenza dei gruppi alle catene vulcaniche è molto più chiara; è evidentissima. I coni vulcanici dei Campi Flegrei (figura 78) possono considerarsi come distinti in certi gruppi; ma questi gruppi, compresovi il Vesuvio, formano una serie lineare, che circonda la baja di Pozzuoli e il golfo di Napoli. Questa serie lineare poi non è che una porzione della gran serie lineare, ossia della gran catena italica.

707. I rapporti dei vulcani, componenti i diversi gruppi, sono tali, che ciascun gruppo può di leggieri considerarsi come un vulcano gemello, o trigemino, o composto in genere di diversi spiragli attivi o spenti, appartenenti alla stessa fessura. Rischiareremo l'argomento con un esempio pra-

tico. Una delle serie lineari più spiccate è quella dei vulcani dell'America centrale, illustrata dai recenti studî di Dollfus e De Mont-Serrat nella loro *Geologia* aggiunta all'Opera *Mission scientifique au Mexique*, dalla quale

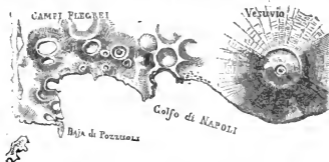



Fig. 78. Carta del Vesuvio e dei Campi Flegrei.

caviamo i particolari circa la disposizione dei vulcani costituenti la catena delle repubbliche di Guatemala e di San Salvador [1].

708. La catena dei vulcani dell'America centrale corre 700 chilom. nella direzione approssimativamente da nord-ovest a sud-est. Vi si contano 31 tra vulcani e gruppi di vulcani. I vulcani, indicati dagli autori come *gruppi*, sono 18, e, stando ai particolari da loro riferiti, la cifra data di 31 vulcani andrebbe almeno raddoppiata, quando i singoli coni vulcanici si considerassero isolatamente. Tutti questi vulcani (ad eccezione di 3 nel distretto di Chiriqui nella Nuova Granata) sorgono tra il rilievo del paese e il lido dell'Oceano Pacifico. Sorgono, cioè, precisamente sulla linea di confine fra il mare e la grande catena, composta di catene parallele, che forma il rilievo dell'America centrale. Si nota il più perfetto parallelismo fra queste catene e la serie dei vulcani. La carta fig. 79 e la veduta fig. 80 mettono in evidenza un fatto, che io raccomando all'attenzione del lettore, anche in prevenzione di certe tesi, di cui dovremo occuparci più tardi.

709. I vulcani sono disposti sopra una linea nord-ovest, sud-est. Nell'area compresa dalla carta se ne contano 38: non tutti però appajono isolati sulla linea indicata. Anzi per la maggior parte si presentano uniti ad altri, in guisa da costituire un gruppo ciascuno. Questi gruppi io li ho indicati nella scritta esplicativa della fig. 79, abbracciando entro una graffa

[1] La carta dei vulcani di Guatemala (fig. 79) è tracciata in piccola scala sulla porzione corrispondente della carta geologica annessa all'opera citata. La veduta dei vulcani stessi (fig. 80) è egualmente copiata in piccola scala dalla tav. VII dell'opera in discorso.

Fig. 79. Carta dei vulcani di Guatemala.

1. . . ?
2 Carro Quemado
3. V. de S. Maria
4. V. de S. Pedro
5. . . ?
6. . . ?
7. V. Atitlan
8. . . ?
9. . . ?
10. V. de Fuego
11. V. de Agua
12 V de Pacaya
13. . . ?
14. . . ?
15. V. d'Ipala
16 V. de M. Rico
17. de S. Catarina
18. V. Cuma
19. V. d'Amaya
20. V. Chingo
21. . . ?
22. V. d'Izalco
23. . . ?
24. . . ?
25. . . ?
26. V. S. Salvador
27. . . ?
28. . . ?
29. . . ?
30. . . ?
31. V. de S. Vincente
32. . . ?
33. . . ?
34. . . ?
35. V. de S. Miguel
36. V. de Concagna
37. V. Isola del Tigre
38. V. Conseguina

i numeri dei vulcani costituenti lo stesso gruppo. Osservate ora ciascuno de' sei gruppi ch' io ho così distinti, e vedrete che i vulcani, appartenenti a ciascuno di essi, sono essi pure allineati, in guisa che ciascun gruppo costituisce una piccola serie di vulcani, distribuiti sopra linee diramantisi dalla linea principale, anzi normali ad essa. Il fatto è evidentissimo pel gruppo del vulcano di Santa Maria, per quello del vulcano di Atitlan, per quello del vulcano di Fuego, ecc. Questa disposizione dei gruppi vulcanici ci autorizza a considerare come gruppo la serie esattamente lineare dei vulcani n.° 15-19 (fig. 79), che comincia a sud-ovest col vulcano d'Amayo e si inoltra verso nord-est, sopra una linea esattamente normale alla linea principale.

710. In vista di tale disposizione, chi non direbbe che i vulcani dell'America centrale sono allineati sopra una sola fessura principale, da cui si dipartono alcune fessure secondarie ad angolo retto? Chi non direbbe che una grande spaccatura corrisponde precisamente alla linea di confine fra il mare che si sprofonda a sud-ovest e il continente che si eleva a nord-est; spaccatura la

quale, mascherata in tutta la sua lunghezza dai recenti depositi, formanti il litorale del Pacifico, si afferma però ancora per quella lunga serie di spiragli, per cui si sfogano i sotterranei fuochi?

Fig. 80. Veduta dei vulcani di Guatemala.

711. Il fatto è già imponente; ma lo diviene assai più, quando si osserva che ogni serie vulcanica costituisce soltanto una porzione di una gran serie, una parte di un gran sistema lineare composto, entro il quale si mettono in rango tutti i vulcani del globo. Nè solo in questo sistema universale i vulcani sono allineati, come i vulcani di ogni singola serie; ma conservano tutti, più o meno decisamente, i rapporti coi mari e colle terre, colle depressioni e colle catene, che abbiamo verificato per la catena vulcanica dell'America centrale. Studiando infatti i rapporti topografici delle diverse serie o catene di vulcani, vedonsi formare un solo gran sistena lineare di vulcani. Fatto cardinale, una delle più vaste conquiste della geografia fisica, forte del progresso delle scoperte e delle indagini scientifiche nei due mondi. Io insisterò brevemente su questo solo fatto, che è anche il più concludente, il più atto ad illuminarci sulla causa dei vulcani.

712. Mettetevi sott'occhio un planisfero per seguire coll' occhio lo sviluppo delle grandi catene vulcaniche e formare quindi una sintesi. Partiamo dalle regioni più settentrionali dell' America meridionale, sulle coste del Mar Pacifico. Seguendo la serie dei vulcani, distribuiti sulla superficie del globo, ci vedremo mano mano condotti a descrivere, più o meno vicino alle coste, il perimetro di tutti i continenti.

713. Ecco la serie de' principali gruppi o catene che ci si presentano in questo giro del globo.

1.° Catena dell'Alta California. — Questa catena è parallela alle coste della California, ma è sensibilmente internata. È del resto poco nota.

2.° Catena della Bassa California. — Ripetasi ciò che fu detto della precedente.

3.° Catena dell'America centrale e meridionale. — È divisa in cinque gruppi, lunga 1262 miglia, compresi gli intervalli che sommano a 607 miglia. Si può suddividere come segue:

A) Catena del Messico. — Composta di sette vulcani, disposti sulla lunghezza di 130 miglia, attraversa il Messico dall'uno all'altro mare.

B) Catena dell'America centrale propriamente detta. — Lunga 170 miglia, comprende 29 vulcani. Le isole Gallapagos, che possono comprendersi in questa catena, sono così irte di vulcani, che Darwin ci avrebbe contati forse 2000 coni, di cui alcuni in attività contemporaneamente.

C) Catena della Nuova Granata o di Quito. — Ha 18 vulcani sopra una linea di 118 miglia.

D) Catena del Perù e della Bolivia. — Sono 105 miglia occupate da 14 vulcani.

E) Grupppo del Chilì. — Sono 24 vulcani allineati sopra 242 miglia.

La costa più meridionale dell'America è meno nota. Vi hanno però tutti gli argomenti per credere, che la grande catena vulcanica dell'America meridionale non sia quasi punto interrotta fino al Capo Horn. Due vulcani, p. es., si sono verificati nella Terra del Fuoco. Tenendo poi la direzione della grande catena descritta, incontriamo i vulcani delle regioni antartiche, tra i quali quelli della Nuova Shetland.

714. Rimontando verso l'equatore, sulla costa atlantica ci incontriamo nelle Piccole Antille, una vera catena vulcanica che comprende forse 13 vulcani.

Una catena vulcanica, pari a quella delle coste occidentali d'America, esiste nell'Atlantico, benchè rivelata soltanto da diversi gruppi, o vulcani che sorgono dal mare a grandi intervalli. Anche questa grande catena, allineata quasi nel mezzo dell'Atlantico, descrive in qualche modo il perimetro dei due continenti, l'antico ed il nuovo, che così mirabilmente si corrispondono colle loro fronti verso l'Atlantico. I vulcani che appajono costituenti la detta catena, sono:

L'isola Jan Meyen vulcano.

L'Islanda, dove si contano circa 29 vulcani.

Le Azzore tutte vulcaniche, eccetto Santa Maria, che si scosta assai dalla linea tracciata dai vulcani.

Le Canarie, tutte vulcaniche.

Le isole del Capo Verde, tutte vulcaniche.

L'Ascensione, vulcano spento.

Tristan d'Acunka, vulcano spento, ma vero tipo vulcanico.

Vulcano sottomarino, di cui parlammo, esistente tra il 18° e il 20° di longitudine occidentale, circa, nel punto medio tra l'Africa e l'America, dove i due continenti sono più avvicinati.

I successivi studî sono destinati del resto a rendere assai più fitta questa catena vulcanica, potendovisi già, con molta probabilità, collocare le isole Los (coste dell'Africa, 11° parallelo) ritenute tutte vulcaniche; l'isola Fernando-Po e il gruppo a cui essa appartiene, poste presso le bocche del Calabar, nel golfo Benin; il monte Camerone, in faccia a dette isole sulla terra ferma, che avrebbe avuto una eruzione nel 1838; l'isola Trinità nell'Atlantico (20° lat. sud, 27° long. ovest) e l'isola Gongh a sud dell'isola Tristan d'Acunka.

715. *Catena dell'Africa orientale.* — Così chiamo quella serie di vulcani che circondono il Madagascar, e quindi si allineano sulle coste dell'Arabia verso il Mar Rosso. Questa catena è assai poco nota; ma in seno allo stesso Mar Rosso esistono vulcani, e si ritengono, dietro indizî, assolutamente vulcaniche le sponde dello stesso mare.

716. Tenendoci sempre vicini al continente, ci si indicano vulcani e regioni vulcaniche del golfo Persico e nelle regioni settentrionali dell'Indostan. Anche questi paesi sono poco noti sotto questi rapporti. Ma ad est dell'Indostan le catene vulcaniche sono maravigliose per il loro sviluppo e per la loro continuità. Si può dire, che una catena continua di vulcani delinea, a certa distanza dalle coste, tutto il continente asiatico verso l'oceano Pacifico, finchè va a confondersi colla grande catena americana. Chiameremo questa maravigliosa serie di vulcani: *catena asiatica orientale.* Può dividersi in sette gruppi o catene parziali.

A) Isole della Sonda. — Questa catena comprende Sumatra, Giava o almeno quindici altre isole vulcaniche. Sumatra conta quattro vulcani, e Giava, lunga 136 miglia, ne novera 45. Questa prima catena si continua colla

B) Catena delle Molucche. — Comprende nove vulcani. Seguono, quasi senza interruzione, sopra una zona di maravigliosa regolarità le seguenti catene insulari.

C) Le Filippine — Cinque vulcani, oltre alcuni fuori di linea.

D) Il Giappone. — Quattordici vulcani.

E) Le Kurili. — Dieci vulcani.

F) Il Kamtschatka. — Quattordici vulcani.

G) Le Aleuzie. — Formano una catena di dieci vulcani, che va a fondersi colla catena dell'Alta California.

717. Abbiamo così compito il giro del globo, disegnando con una serie di vulcani, quasi senza interruzione, il perimetro dei continenti,

Ma gli stessi continenti presentano delle grandi sinuosità, anzi delle incisioni profonde, per cui seni lineari di mare, ossia mediterranei, si insinuano fin nel cuore delle grandi masse continentali. Ebbene catene vulcaniche, quasi rami del gran tronco vulcanico, si dipartono dalla catena principale circumtellurica, per delineare, anche in ciò che ha di accidentale, il perimetro dei continenti. Abbiamo già veduto, come la catena dell'Africa orientale si insinua nel mar Rosso; come cioè l'estremità settentrionale di essa forma un ramo, staccato dalla grande catena, che si continuerebbe partendo dall'Africa orientale, colle serie dei vulcani asiatici. Quel ramo corrisponde a una delle maggiori incisioni del mondo antico. Quando il golfo Persico, altro mediterraneo, sarà meglio conosciuto, vi si indicheranno assai probabilmente dei vulcani o attivi o spenti [1]. Ma il fatto generale enunciato è specialmente affermato dal più gran mare intercontinentale, che chiamossi, come per antonomasia, Mediterraneo. Il Mediterraneo, considerato semplicemente come depressione intercontinentale, si continua colla grande depressione aralo-caspiana, prolungandosi fino alle basi dei grandi rilievi dell' Asia centrale. Or bene, questa massima incisione del mondo antico è descritta dalla maggiore catena secondaria che si ramifica dalla catena principale. La *catena mediterranea* comprende i vulcani dell' Italia della Grecia, del Caucaso, dell' Armenia, prolungandosi, probabilmente, a est nel Caspio, nell' interno dell' Asia, fino alle regioni del lago Baïkal.

718. Mostrando come i vulcani delineano, in senso assai largo ma pur vero, il perimetro dei continenti, non abbiamo compreso nel novero di questi il continente novissimo, cioè quella gran massa di terra continua, isolata nella maggiore vastità degli oceani, cioè l'Australia. Ma anche il perimetro di questo continente è in gran parte delineato da una *catena australe*, cioè da una serie di vulcani e di isole vulcaniche, la quale si ramifica dalla catena principale, che, partendo dalle Molucche, cinge il continente australe verso est, e termina a sud-est colla splendida serie dei vulcani della Nuova Zelanda, quando pure non si continui, girando a sud, fino a trovarsi in rapporto coi vulcani antartici della terra Vittoria, per ripiegarsi a ovest, fino a trovare il vulcano insulare di San Paolo, che tiene il mezzo fra le opposte estremità dell' Australia e dell' Africa.

[1] Il supposto dell' esistenza di una serie di vulcani nel golfo Persico, che trova già un valido appoggio nella analogia di questo gran seno col mar Rosso e col Mediterraneo, ne trova un altro nel fatto, che, sul prolungamento del golfo Persico, cioè nella gran valle dell'Eufrate, sono copiose, e note, come vedremo, dalla più alta antichità, le manifestazioni secondarie dell'attività vulcanica.

719. La rassegna dei vulcani del globo[1], considerati nei loro rapporti orografici, ci autorizza a venire immediatamente ad alcune conclusioni, di importanza capitale, espresse nei seguenti punti.

1.° Prescindendo da alcune deviazioni, e considerando i vulcani in rapporto colle grandi masse continentali, essi vulcani sono disposti approssimativamente in guisa da formare un gran sistema lineare, ossia una gran zona sinuosa, che disegna, in senso largo, il perimetro dei continenti.

2.° La linea dei vulcani, così intesa, coincide, nella stessa misura di approssimazione, coi limiti tra le vaste prominenze del globo che formano i continenti, e le immense depressioni che costituiscono i mari.

3.° Quando nell'interno di un continente si verifica una riguardevole depressione, questa è segnata da una zona vulcanica secondaria; sicchè le zone secondarie, deviate dalla gran zona primaria, rientrano esse pure in un solo sistema, espresso colle proposizioni precedenti.

4.° I vulcani segnano un gran sistema lineare di fessure o, piuttosto, una grande rottura della crosta del globo, sinuosa o ramificata, come lo è il sistema dei vulcani, coincidendo del pari coi limiti tra le masse continentali e i mari[2].

5.° Le diverse parti della gran zona vulcanica sono parallele alle massime elevazioni, ossia alle grandi catene di montagne dei rispettivi continenti.

720. Vedete che siamo già presso, anche coi dati della sola dinamica terrestre, a scoprire come, in genere, le masse continentali si formarono pel sollevamento della crosta terrestre, mentre per depressione formaronsi i mari; come tali oscillazioni avvennero con rottura della crosta stessa del globo, rottura la cui esistenza è attestata, e il cui andamento è perfettamente segnato dai vulcani. Ma non preveniamo la geologia nelle sue mosse più ardite ma sicure, in questo campo di induzioni, e cerchiamo piuttosto di ben incardinare i fatti, liberandoli da alcune difficoltà.

721. Vedendo come, per stabilire l'esistenza di una zona vulcanica continua, non si hanno per molti tratti che pochissimi vulcani, o come biso-

---

[1] Perchè la rassegna fosse veramente compita, mancherebbero alcuni gruppi isolati, e come smarriti nella vastità dell'Oceano. Parlo dei vulcani delle Isole Sandwich, Marchesi, della Società. Essi sono legati, probabilmente, coi rapporti stessi che abbiamo rilevato per gli altri, con linee orografiche sottomarine. Ma l'assoluto difetto d'ogni dato positivo ci costringe a non occuparcene.

[2] Scrope (*Les volcans*, pag. 13) nota come la gran zona vulcanica, che, costeggiando tutto l'Oceano Pacifico, *taglia quasi in due metà il globo*, lascia presumere l'esistenza di una immensa fessura nella crosta terrestre. Ma è ancora ben lontano da quella sintesi che parmi possa abbracciare l'universalità dei vulcani, considerati nei rapporti colle elevazioni continentali, e colle depressioni marine o intercontinentali.

gna quindi supporne troppi altri, la cui esistenza non si può di fatto dimostrare, potrebbe taluno credere che spaziassimo in un campo affatto ipotetico. Ma si osservi un fatto semplicissimo. Dov'è che i vulcani formano una serie fitta, continua, tale che palesa evidentemente una fessura longitudinale? Dov'è invece che i vulcani son radi, e sembrano accennare ad un isolato orifizio? Il primo caso si verifica sulle coste continentali, p. es. sul gran lembo occidentale dell'America bagnata dal Pacifico; o sulle grandi isole, come a Giava; o dove le isole sono avvicinate in guisa da formare una vera catena, come sulla gran zona che si svolge a certa distanza dalle coste orientali dell'Africa. Il secondo caso si verifica in alto mare, dove le isole sono rade, come nell'Atlantico. Ma tali isole però sono quasi esclusivamente vulcaniche. In una parola, i vulcani noti sono, quasi senza eccezione, vulcani subacrei. E devono esserlo, quasi senza eccezione, i soli vulcani subaerei, perchè visibili sempre quando erompono, visibili sempre anche quando riposano. I vulcani sottomarini invece facilmente non si vedranno quando si svegliano, e rimangono assolutamente invisibili quando dormono. Supponiamo che il distretto vulcanico d'Italia fosse sommerso in mare. Chi saprebbe scoprire più un solo dei cento coni, o attivi o spenti, di cui è irta la Penisola? E quali indizî ci sarebbero giunti, in questi ultimi diciotto secoli, di quella attività che distingue la nostra zona vulcanica? Forse l'Etna o il Vesuvio avrebbero, nei maggiori parossismi, sporto il capo dalle onde ed edificata qualche effimera isoletta, come la Giulia o la Sobrina. Ma chi avrebbe concluso, da sì poveri segni, all'esistenza di una serie così imponente di vulcani? Ora, meglio edotti delle leggi che governano la distribuzione dei vulcani, quale difficoltà avremmo ad ammettere che una serie di vulcani sottomarini continui sotto mare quella gran linea di vulcani formante un gran sistema circumtellurico, il quale non è già interrotto, ma solo diradato, o meglio ancora mascherato, sulle aree occupate dai mari? Perchè tra l'isola e Jan Meyan e l'Islanda, tra l'Islanda e le Azzore, tra le Azzore e le Canarie, non esisterebbero serie di vulcani sottomarini, attivi o spenti, come esistono le Lipari tra l'Etna e il Vesuvio, e i Campi Flegrei tra il Vesuvio e i vulcani romani? Mi pare adunque di poter conchiudere che l'interruzione della gran zona vulcanica sia da ripetersi dal non apparire dei vulcani sottomarini, che riempirebbero le diverse lacune. Ricordo in proposito quanto si è detto sopra, circa la difficoltà della scoperta dei vulcani sottomarini, e circa il loro lento elevarsi in confronto dei vulcani subaerei. Infine poi, quando si parla di un sistema di fessure, formanti quasi una sola fessura lineare, non fa d'uopo che ce la immaginiamo letteralmente aperta e libera su tutta la sua lunghezza. Si pensi che la spezzatura di una parete di così enorme spessore, costrutta di so-

stanze lapidee, inomogenee, una spezzatura che avvenne forse a diverse riprese, con parziali screpolature, scoscendimenti, spostamenti, ecc., deve aver per risultato un vero sistema di fessure, succedentesi ad intervalli, benchè ordinate sulla stessa linea di frattura.

722. Altre difficoltà al sistema, che noi riteniamo, possono dedursi dal modo di presentarsi dei fenomeni vulcanici. Se i vulcani tutti (potrebbe opporsi) appartengono allo stesso sistema, cioè sono orifizî di una stessa caldaja, dobbiamo aspettarci queste due necessarie conseguenze:

1.° La contemporaneità delle fasi per tutti i vulcani del globo.

2.° Il livellamento delle lave alla stessa altezza.

Per vedere quanto tali obiezioni siano insussistenti, pregovi a dimenticare certi apparati da gabinetto, e a considerare il globo veramente qual è. Non dovete immaginarvi, p. es., una caldaia, ripiena di un liquido omogeneo, con tanti orifizî regolari, che formano un sistema di vasi communicanti, ove si sviluppa una data temperatura, sotto una data pressione, ecc. ecc. Senza entrare ora in disquisizioni circa il vero stato dell' interno del globo, abbiamo però sempre una crosta solida d' enorme spessore, fratturata in guisa da formare un sistema di orifizî il più irregolare che immaginar si possa, dalla fessura capillare alla smisurata caverna, dal pertugio più semplice alla rete più intricata di canali. Abbiamo una massa interna, pronta ad injettarsi ed a erompere; ma questa è tutt'altro che un liquido: la lava è una pasta densa, difficile agli attriti, che prontamente si raffredda, si raggruma, ostruisce i canali, incombe sugli orifizî. Abbiamo un pianeta, ove sono così continui gli squilibrî di temperatura interna ed esterna. Infine, abbiamo un apparato, ove la regolarità che noi pretendiamo, sarebbe più inesplicabile delle irregolarità che si manifestano. Una volta ammesso che le condizioni non possono essere uguali per tutti, anzi nemmeno per due vulcani vicini, ne viene, per immediata conseguenza, l'opposto di ciò che ci si obietta come necessario; voglio dire che le eruzioni, in genere parlando, non possono essere contemporanee, appunto perchè i vulcani appartengono ad un solo sistema.

La ragione ne è semplicissima, e sta in ciò: che se i vulcani sono in rapporto fra loro e attivi di una commune attività, ammessa una qualunque minima circostanza, o diversità di condizioni, che possa o ritardare, o accelerare l' eruzione di ciascuno, l' attività di uno torna a detrimento di quella dell'altro; come dovrebbe avvenire di una caldaja a vapore che avesse più valvole di sicurezza, a differente pressione: aperta una, le altre non potrebbero più funzionare.

723. Sarebbe interessantissimo un quadro cronologico delle eruzioni vul-

caniche storicamente note, e si potrebbe già tentare con esito, ricorrendo alle opere generali di Humboldt, di Scrope, ecc., come alle opere speciali di Roth sul Vesuvio, di Carlo Gemmellaro sull'Etna, ecc. Osserverò in genere il fatto, che è raro il verificarsi sulla stessa catena o nello stesso distretto due eruzioni contemporanee: anzi si direbbe che, ad un periodo di attività di un vulcano corrisponde un periodo di riposo dei circostanti. Così l'attività permanente del Vesuvio in questi ultimi secoli spiega il permanente riposo de' Campi Flegrei. Quando invece lo stesso Vesuvio godè di un lungo riposo, dal 1139 al 1500, si verificarono le eruzioni della solfatara di Pozzuoli nel 1198, dell'Epomeo d'Ischia nel 1302 e quella terribile di Vulcano nel 1404. Salvo una eruzione di ceneri, pare che il Vesuvio abbia continuato a dormire fino al 1631; ma svegliossi formidabile l'Etna nel 1536, eruppe il Monte Nuovo nel 1538, ed arse un'altra volta Vulcano nel 1600. La terribile eruzione del Vesuvio, nel 1631, fu il segnale di pace pei Campi Flegrei, pace che dura ancora, come ancor dura l'attività del Vesuvio.

724. Parmi d'aver detto abbastanza, anche per mostrare la nullità dell'altra obiezione, dedotta dalla diversità di livello dei diversi orifizî vulcanici. La estrema irregolarità dei condotti, le accidentali ostruzioni, la densità così varia, e, talora, la pastosità o semisolidità delle lave, ecc., sono fatti che rispondono per qualunque diversità di livello possa verificarsi nelle lave de' diversi camini vulcanici.

Si parlò dei camini vulcanici come di altrettanti vasi communicanti; e ciò, in certo senso, sta bene. Ma si volle considerare la lava come un liquido che dovesse portarsi ne' diversi vasi allo stesso livello; e ciò non corre. Si badi aver noi per sancito come ciò che l'eruzione ha di più appariscente, non sia che un fenomeno locale: non alzarsi cioè la lava fino al labbro del cratere per pressione idrostatica, ma per la dilatazione dei vapori, che si verifica localmente, nell'atto che la lava si trova in rapporto immediato coll'atmosfera, e che potrebbero portare le lave ad una altezza indefinita, senza che possano reagire sulla massa interna, più di quel che farebbero le schiume di un liquido vischioso ribollenti dall'orifizio di una caldaja. Non lasciamoci nemmeno illudere dall'altezza comparativa di certi coni. Abbiamo veduto, come l'altezza delle montagne vulcaniche non è in rapporto colla forza eruttiva del vulcano, ma colla durata del periodo di dejezione; come il cono vulcanico non è infine che un cumulo di scorie, addossato al vero orifizio del vulcano, cioè ammassato sulla fessura lineare costituente il primitivo cratere. Non si nega con ciò il valore della pressione idrostatica; ma si badi che questa non conta nulla nel caso nostro. Durante l'eruzione la pressione idrostatica

è equilibrata, e anche vinta dalla tensione interna del vapore: anzi è per ciò che la lava ascende nei camini vulcanici. Si dirà che ad ogni modo ci dev'essere una reazione sugli altri vasi communicanti. Certamente; ma tale reazione dev' essere maggiore prima dell' eruzione. In fatti l'eruzione non è che lo sfogarsi del vapore, il quale aveva raggiunto una tensione bastante, non solo a sostenere la colonna di lava, ma a far saltare il cono e a disostruire il camino vulcanico, presentando tutti i fenomeni di una esplosione. Se prima il vapore non valeva a alterare le condizioni degli altri vulcani, tanto meno lo potrà ora. Quando un vulcano erompe, piuttosto che aumentare l' intensità degli attivi, e a ridestare gli spenti, varrà a scemare l'attività dei primi, e a prolungare il sonno dei secondi. Perciò appunto i vulcani sono considerati come valvole di sicurezza. Certamente vi è un lungo studio da farsi sulle cause che elidono la tensione dei vapori anteecdentemente alla eruzione; su quelle che determinano o ripristinano la tensione dei vapori in questo o in quel punto. Questi periodi irregolari d' intermittenza, l' attività durevole in un punto, passaggiera in un altro, maggiore in un' epoca minore in un' altra e così via via, sono fatti ancora misteriosi, sono quesiti a cui la scienza avvenire è chiamata a rispondere. Non si possono intanto negare nè quella unità del sistema vulcanico, nè quella mutua dipendenza dei vulcani fra loro, che risultano dal complesso delle osservazioni. Io credo intanto che la elisione della forza, prodotta dalla tensione del vapore, che non ha esito in un punto, mentre prevale e determina l'eruzione in un altro, si debba cercare per una parte nella enorme estensione e irregolarità dei canali che devono mettere in communicazione i diversi vulcani fra loro; per l'altra nella diversa natura delle lave, più o meno pesanti, più o meno fluide, per cui assai vario deve riuscire il sistema delle resistenze. Del resto, ogni raziocinio diviene superfluo, quando vediamo dei vulcani avere orifizî diversi, quasi valvole della stessa caldaja, eppure ben lontani dall' esibire contemporaneità di fasi e livellazione di lave. Deville osservò nel 1856 due coni sul Vesuvio, uno più basso dell' altro; ma il cratere del cono più alto, era un lago di lava; mentre il più basso era vuoto fino alla profondità di 100 metri. Scrope osservò pure due crateri nello Stromboli, nel 1820; nell' uno ribolliva la lava; dall' altro non emanavano che vapori [1].

[1] Mentre queste pagine erano nelle mani del compositore, ebbi occasione di fare una gita a Napoli, e di rivedervi il Vesuvio, col mio amico ingegnere Alessandri del Comitato geologico di Firenze, e con una guida dell'Osservatorio. Esso presentava una fase stromboliana brillantissima, che ebbe principio, se ben mi ricordo, col gennajo di quest'anno 1871. Esternamente, verso l' Atrio del Cavallo, a forse 70 metri dalla sommità del cono vesuviano, precisamente alla base del cono formatosi tra il 1865 e il 1869, cioè sul rilievo semicircolare

725. Infine se le disposizioni dei vulcani, la somiglianza dei fenomeni eruttivi, e mille buoni argomenti, ci persuadono a riunire tutti i vulcani in un solo sistema; ciò non impedisce, che ciascun vulcano, secondo le speciali circostanze, porga differenti manifestazioni, e abbia, come si suol dire, una propria sfera di attività. L'Oceano, ripartito in tanti mari, forma certamente un solo sistema di vasi liberamente communicanti; eppure noi vediamo quanto vi possano le influenze locali, variando a luogo a luogo i movimenti, la temperatura, la densità, e fino il livello delle acque. Non meravigliamoci adunque se si verificano influenze locali, e quindi locali modificazioni nell' oceano interno, dell' esterno assai più vasto e profondo. Squilibrî di temperatura, reazioni chimiche, e chi sa quanti altri accidenti possono aumentare l'attività vulcanica in una parte, scemarla nell'altra; qui accendere un vulcano, là estinguerlo.

726. Al postutto ci crediamo autorizzati a conchiudere che tutti i vulcani appartengono ad un solo sistema; rappresentano cioè un sistema di fessure, per cui l'interno del globo è in relazione immediata coll' esterno. Un vulcano adunque non ci manifesta soltanto lo stato dell' interno del globo in quel punto che si riferisce al vulcano stesso, preso individual-

---

lasciato dal cratere del 1865 (vedi § 674), si era aperta una squarciatura, da cui sgorgarono in più riprese le lave. Sulla squarciatura sorse il piccolo cono, che appare come centro principale dell'attuale attività del vulcano. Io salii all' Osservatorio la notte tra il 5 e il 6 di maggio. Le lave, ancora fluenti, uscendo dall'Atrio, avevano investito il promontorio su cui è fabbricato lo stabilimento, che sorgeva, a mo' di penisola, fra due correnti infuocate. La mattina del 6, attraversata la corrente di lava, che divide l' Osservatorio dal cono vesuviano, salii fino alla sommità del vulcano. Dal cratere infuocato del cono esterno, che io potei salire fino a circa tre metri dalla sommità, si levava, con rombo cupo e incessante, una colonna di vapore, luminosissima di notte, ritta a mo' di tronco, fino all' altezza di forse 300 metri, dove si espandeva in forma di nube. Lo sgorgo della lava alla sua base era cessato, ma poteva ricominciare da un istante all'altro, come s'era visto più volte in quei mesi. Partendo da quel piccolo cono laterale, continuai la salita fino alla sommità del cono principale. Il cratere del Vesuvio era quasi colmato. Due coni gemelli, levandosi dal fondo, e già fusi a modo dei due coni principali interni, che si osservano nella figura 65 (§ 675), avevano riempito il recinto, non lasciando che alcune depressioni fumanti. Ma i due coni interni presentavano un cratere ciascuno, allineati approssimativamente da sud a nord, in corrispondenza col cono esterno, e colla spaccatura, da cui ebbero luogo le eruzioni di questi ultimi anni. Il cono a sud aveva un cratere imbutiforme, profondo forse 70 metri. Il fondo vedevasi incandescente in pieno giorno, ma non vi si scorgevano lave in movimento, e se ne levava una colonna di fumo rado, che veniva a volta a volta spazzata dal vento. Il cono a nord, ugualmente profondo, terminava con una voragine obliqua, di cui non si poteva per conseguenza vedere il fondo. Anch'esso fumava; ma ad intervalli di pochi minuti vi avevano luogo delle detonazioni, e sentii benissimo una fiata piovermi la sabbia sulla testa. Evidentemente i tre crateri (l'esterno e i due interni) erano in communicazione fra loro, toccando tutti e tre la spaccatura, da cui aveva luogo di tanto in tanto il *drenaggio* delle lave. Eppure l'esterno era in piena eruzione; l' interno a nord presentava quella forma di *fase stromboliana* descritta già al § 634; il cratere a sud finalmente si presentava, più che altro, allo stato di solfatara.

monte; ma è una manifestazione dello stato interno del globo, preso nel senso più generale; è, come dicemmo fino dapprincipio, la più perfetta manifestazione dell'attività interna del globo.

Questa, che potrebbe dirsi sintesi vulcanica, ci pone già in grado di potere rispondere dell'interno del globo; ma lo saremo ancor maggiormente, quando vedremo che nella sintesi stessa possiamo comprendere tutte anche le secondarie manifestazioni, di cui passiamo ad occuparci.

CAPITOLO IX.

SALSE E VULCANI DI FANGO.

727. Abbiamo detto (§ 579) che le secondarie manifestazioni del vulcanismo, isolate e individualizzate sopra un numero infinito di punti della superficie del globo, si trovano realmente associate, e sintetizzate in un vulcano; che esse sono parziali manifestazioni di una forza, la quale si mostra agente, nella sua pienezza e integrità, in un vulcano: abbiamo detto inoltre che, premesso lo studio dei vulcani, ci troveremmo spianata la via ad approfondire le altre manifestazioni, e risparmiata in gran parte la fatica di cercarne le ragioni. Nella seguente rassegna delle secondarie manifestazioni del vulcanismo vedremo in fatti come nulla ci si presenti di essenzialmente nuovo. Ma il concetto del vulcanismo, studiato in tutte le sue più parziali manifestazioni, non potrà che risultarne più netto. Ne guadagnerà singolarmente l'idea della potenza e universalità di quella attività interna, di cui tutti i fenomeni vulcanici, non sono che una molteplice e complessa manifestazione.

728. Cercando quale delle manifestazioni d'ordine secondario possa, per la somiglianza e la moltiplicità dei fenomeni, tenere il secondo posto dopo i vulcani, troviamo che questo diritto compete alle *salse* e ai *vulcani di fango*. Vedremo come le salse si distinguono dai vulcani di fango piuttosto per gradazioni di effetti, che per diversità di fenomeni, per cui possono infine considerarsi come formanti un sol gruppo di fenomeni, il cui complesso riesce, dopo quella dei veri vulcani, la più importante manifestazione del vulcanismo.

729. Che cosa è una *salsa?*

Una descrizione abbastanza particolareggiata di quella fra le salse che mi parve più completa e più caratteristica, ci gioverà meglio allo scopo, che non l'insistere in via generale su quei caratteri, per cui le salse costituiscono un fenomeno tellurico di una singolare uniformità. La salsa a cui alludo è quella di Nirano, nella provincia di Modena, della

quale ho già pubblicato altrove la descrizione ed il disegno [1]. Sulla via che da Modena guida a Formigine, passato il torrente Spezzano, a mezza via fra Spezzano e Nirano, si scopre una valletta, o piuttosto un solco angusto e profondo, ove, nella stagione piovosa, vedreste colare lento lento un fango cinereo, salato e puzzolento, salvo a trovarvi, nella stagione secca, lo stesso fango raggrumato e secco. Quel fango è il prodotto della gran salsa, a cui si arriva, salendo circa mezz'ora sulla sinistra dello Spezzano. Rimontando in fatti quel canale fangoso, ci troviamo ben presto condotti in una specie di circo od anfiteatro, sopra una landa deserta, entro un ampio recinto che cinge la landa quasi di cinerea muraglia, varia d'altezza, aperta soltanto ad est, ove il melmoso torrentello trova uscita per versarsi nello Spezzano. Chi ha visitato il Vesuvio nei periodi di calma, meglio chi vide la solfatara di Pozzuoli, può formarsi un'idea della salsa di Nirano. Anch'essa presenta la forma di un cra-

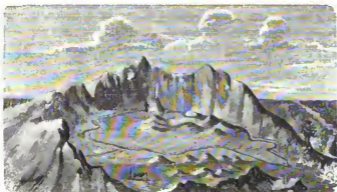



Fig. 81. La salsa di Nirano [2].

tere, cioè un piano depresso, quasi circolare, circondato da un rilievo in forma di recinto, il quale, da un punto di massima elevazione, va decrescendo d'altezza, finchè si mostra inciso sul fianco ad est. Il recinto della salsa, la cui altezza massima oltrepassa certamente i 70 metri, consta di quelle argille cerulee, di cui è formata la prima zona delle colline subappennine.

---

[1] *I Petroli in Italia*, nel *Politecnico*, vol. I e II, Milano 1868.

[2] Questa veduta, presa, come si suol dire, *a volo d'uccello*, e disegnata sopra uno schizzo da me delineato in luogo, non può vantarsi di tutta l'esattezza ne' particolari. Credo però che i difetti accidentali siano compensati dal merito sostanziale di presentare il complesso dei fenomeni in quei rapporti che meglio interessano la scienza.

730. Il piano della salsa è il campo di quell' attività che caratterizza appunto questi pseudo-vulcani. Esso è subcircolare, con un diametro massimo di forse 300 metri, irregolare, fangoso, sterile: un vero campo scellerato, ove è sparso il sale della maledizione. Il piano stesso è d'argilla, e diviso in due metà da un canale scavatovi dalle pioggie. Ad ognuna delle due plaghe corrisponde un gruppo di conetti, ossia di salse. Il gruppo sud ne vanta da dieci a dodici, e circa altrettanti il gruppo nord. Immaginatevi un vero vulcano in miniatura; la mole imponente del Vesuvio umiliata alle dimensioni pigmee di un mucchio da talpe: riducete il cratere alla capacità di mediocrissimo imbuto; i laghi di fango bollente, onde son celebri i vulcani di Giava, non siano che pochi cucchiai di melma salata, e le formidabili eruzioni divengano lo sprigionarsi ad intervalli di alcune gallozzole di gas idrogene carburato, che buttano in aria alcune pillacchere di fango: ed eccovi rappresentata al vivo una salsa, e meglio uno dei conetti eruttivi che si aggruppano in una salsa. Non tutti però presentano l'identica forma. Nella salsa di Nirano, p. es., uno de' coni consisteva in una vasta, morbidissima convessità, ove era scavato un lago circolare, di finissima belletta, della circonferenza di circa 12 metri. Dal centro di esso lago sollevavasi, a brevi intervalli, un gruppo di grosse gallozzole, le quali, scoppiando con rumore simile ad un primo conato di vomito, facevano traboccare quella broda fangosa.

731. Il cono, che io chiamerò maestro, non raggiungeva ancora l'altezza di 7 metri, assegnata da Humboldt alle salse di Turbaco. Ne vantava però 5 all'incirca, e si slanciava ardito, quasi affilato, non nuocendo a quella apparenza di acutezza l'angusto cratere, ove le bolle di gas infiammabile si svolgevano con foga incessante, imprimendo alla fragile mole dei tremiti convulsi, e facendolo eruttare sgorghi di fango, il quale diviso in cento ruscelli, ingrumava i lati del cono, e ne inondava la base. Il gas era perfettamente infiammabile, tanto quello del cono maestro, quanto quello degli altri. Un batuffolo di carta accesa, gettato a galleggiare sul lago di fango sopra accennato, veniva salutato da una vampa di fuoco, ad ogni scoppio di gallozzole. Anzi, giovandomi della duttilità dell' argilla componente il piccolo recinto craterico del cono maestro, ridussi esso recinto a formare una specie di campana che copriva il cratere a mo' di gazometro, non lasciandovi superiormente che un pertugio di qualche centimetro di luce. Acceso il gas, il conetto maestro trasformossi, come mostra la fig. 81, in un fanale, la cui fiamma perenne si manteneva alta 30 centimetri all'incirca.

732. Vogliamo ora domandarci: perchè la salsa di Nirano presenta un

cratere, cioè un recinto, ove quei vulcanelli figurano quasi altrettante fumajuole? Dirò dapprima come io creda trattarsi d'un fatto universale che non ammette forse nessuna eccezione. Le salse da me osservate, tutte mi presentarono quella forma craterica, e la stessa cosa posso affermare delle salse di Giava, sulla verbale testimonianza del signor Emilio Stöhr. Sapendosi come le salse vadano soggette di tanto in tanto a violenti parossismi, a formidabili eruzioni, si può pensare all'esistenza di un vero cratere, originato, come quello dei vulcani, dallo sventramento della montagna vulcanica. Ciò dev'essere vero per quelle salse, ove ebbero luogo infatti poderose eruzioni, ma non per quelle che non ne presentarono a memoria d'uomini, nel qual caso è appunto la salsa di Nirano. Quando il cratere fosse, come pei veri vulcani, un prodotto delle eruzioni, la montagna craterica dovrebbe presentare, come i veri vulcani, la forma conica. Vedremo che ciò si verifica per le salse del Caspio, emule, per la potenza delle loro eruzioni, dei veri vulcani. Nelle salse ordinarie invece la forma d'un cratere non si manifesta, che a chi guardi l'interno della salsa. Se si guarda l'esterno, non v'ha forma conica: non v'ha nemmeno una forma costante, che risponda ad un fenomeno identico nelle differenti località, e tutto rientra, quanto alla forma, nell'orografia locale, la quale non ha nessun rapporto colla salsa. L'esterno sarà un piano, come a Monte Pujanello (altra salsa del Modenese); sarà un colle, come a Nirano, ove infatti la salsa è incisa nello sprone occidentale di un colle allungato, o meglio sull'estremità di una catena di colline, diretta da nord-ovest a sud-ovest. Appena varcato lo spigolo del cratere, più non vi accorgereste nè di cratere nè di salsa, non scorgendo che la forma ordinaria dei colli subappennini. Come adunque esiste quel cratere, il quale a Nirano vanta più d'un chilometro di circonferenza?

733. Dirci che il cratere d'una salsa è negativo, in confronto dei piccoli crateri delle singole salse o vulcanelli, e degl'immensi crateri dei veri vulcani, che io chiamerei positivi. La salsa ha un cratere per difetto, un vulcano per eccesso; il circo della salsa è uno scavo, quello del vulcano è un edificio; un vulcano, eruttando, edifica un cono, la salsa si scava una fossa; il vulcano si alza, la salsa si abbassa.

734. Per intendere, bisogna partire dal principio che una salsa ordinaria, consistendo essenzialmente in un'emanazione gazosa, deve la sua forma soltanto al terreno da cui scaturisce. Se il terreno è tale che si stempri facilmente nell'acqua, esiste la salsa, come a Nirano; se è tale invece che coll'acqua non s'impasti, esiste una semplice emanazione gazosa, come a Barigazzo, a Porretta, a Filigare. E l'acqua, altro de' costitutivi della salsa, non è che l'acqua d'infiltrazione non è in fine che l'acqua

pluviale. Infatti io visitai la prima volta la salsa di Nirano in stagione piovosa. La melma riboccava dai bollenti crateri; il laghetto del gruppo nord traboccava a guisa di caldaja, ove bolle un liquido denso, e sgorghi potenti di fango scendevano a rigagnoli sul fianco del cono maestro ad ogni scoppio di bolla. Tutti que' rigagnoli, provenienti dai diversi coni, quasi altrettanti confluenti, andavano a gettarsi in un canale che sboccava nel canale mediano, il quale dimezzava, come dissi, il piano della salsa. Quel canale era occupato da una vera corrente di fango che scorreva con inapprezzabile lentezza e da cui sprigionavasi continuamente il gas impigliato nel fango al momento dell'eruzione. Quel fango andava poi a riversarsi nello Spezzano, a qualche centinajo di metri più basso.

735. Quando vi ritornai nell'adusta estate, la scena non era di molto cambiata; il gas sgorgava ugualmente abbondante, ma i fianchi dei coni non erano più ingrumati di fango, bensì sparsi di bianca cenere, secchi e screpolati; la melma più non si riversava dai crateri, ma gorgogliava loro serrata nella strozza, anzi talora rinchiusa sotto una volta di fango secco; il canale non era più un fiume di fango, ma un solco adusto, scoriato dal sole.

736. Con tali premesse credo aver già chiarito il mio pensiero circa la formazione del cratere delle salse. Quel fiume di fango che scorre probabilmente da secoli, è al certo un poderoso emuntorio della salsa di Nirano, la quale è dunque continuamente in perdita, senza che le sue perdite siano altrimenti riparate. Supponete che una bolla di gas gorgogli attraverso un terreno fangoso, che, cioè, sulla cima o sul fianco di un colle si stabilisca una salsa. La parte più densa del fango si dispone, in forma di cono craterico, attorno all'orifizio; mentre la parte più liquida scorre lontano, e si precipita al basso. Un vacuo sottorraneo, equivalente alla massa eruttata e dispersa, è causa necessariamente di una prima depressione del pari equivalente. La sommità od il fianco del colle presenta già dunque una rientranza. Le successive dejezioni accrescono il vuoto, e per conseguenza la depressione. Se le sostanze ejaculate potessero tutte arrestarsi attorno all'orifizio, vi sarebbe un'elisione perfetta tra il rilievo che si va edificando, e la depressione che si va formando. Ma la cosa succede ben altrimenti: il fango eruttato scorre lontano dal cono; le pioggie tendono ad esportarlo sempre più lontano, rodono gli stessi coni, trasformano spesso l'intera salsa in scorrevole pantano. Dunque la depressione è sola in continuo guadagno, mentre il rilievo è in perdita continua: il colle si deprime all'ingiro di un orifizio, quasi per effetto d'una lenta suppurazione: in ultima analisi vaneggiar deve un cratere e rizzarsi un circo negativo, quale il presentano la salsa di Nirano e tutte le salse che funzionano allo stesso modo.

737. Dalla descrizione, forse troppo minuta, che mi sono permessa, non voglio per ora cavare altra conclusione che questa: formarsi al presente ed essersi potuti formare in passato, per l'azione lenta e prolungata delle salse, depositi di fango eruttivo, i quali possono acquistare una considerevole potenza. Calcolando all'ingrosso, il cratere della salsa di Nirano rappresenta non meno di dieci milioni di metri cubi d'argilla, esportati dalla lenta azione della salsa, associata all'azione immediata delle acque pluviali. Se domandate quali caratteri distingueranno i fanghi prodotti dalla lenta azione delle salse, dai fanghi vulcanici, dai fanghi alluvionali, ecc.; rispondo, che essi saranno distinti dalla loro finezza, dalla loro omogeneità, e sopra tutto dall'essere compenetrati dal cloruro di sodio e dal petrolio, che si può dire non manchino mai di mostrarsi associati nelle salse.

738. Le salse vanno talora soggette a violenti parossismi, e allora prendon il nome di *Vulcani di fango*, nome che io vorrei riserbato soltanto a quelle salse, che ebbero vere eruzioni, presentando, salvo la natura del prodotto od altre differenze, i fenomeni dei veri vulcani. Se le salse, le quali agiscono lentamente e tranquillamente, costituiscano un ordine differente di fenomeni da quelle che vanno soggette a violenti parossismi. o se invece quelle non presentino che una fase di queste, figurando come le solfatare in confronto coi vulcani, sono quesiti a cui non mi sento finora in grado di rispondere. Stiamo intanto al fatto che vi hanno salse, le quali agiscono lentamente, come quelle di Nirano, di Turbaco, ecc.; e salse che operano con violenza, emulando i veri vulcani. Trattasi di diverse manifestazioni, piuttosto che di modi diversi delle stesse manifestazioni; gli effetti saranno diversi, ed è di questa diversità che noi ci occupiamo al presente.

739. Quasi a fianco della salsa di Nirano soffia un'altra salsa, la celebre salsa di Sassuolo, la quale vanta tutti i diritti ad essere chiamata vulcano di fango. Plinio, che ci lasciò i documenti della prima eruzione storica del Vesuvio, ci conservò pure memoria della più antica fra le storiche eruzione della salsa di Sassuolo. Egli riporta come, sotto il consolato di Lucio Marzio (l'anno di Roma 663), un portentoso avvenimento turbò l'agro modenese; come, fra lo scuotersi ed il rimbalzare de' monti, vidersi in pieno giorno e fiamme e fumo levarsi al cielo. E la furia di quel pseudo-vulcano dovette essere ben grande, se tutte le ville nei dintorni diroccarono, e molti animali rimasero schiacciati. Qui certamente trattasi dell'eruzione di una salsa nel Modenese, testimoniata dai due più imponenti fenomeni costituivi, cioè da violenti terremoti, e da getti, in forma di colonna, di fumo e di fuoco, che rendono visibile l'eruzione anche da lontano. Trattarsi poi della salsa di Sassuolo, lo desume il Bianconi dall'incidente, pur

narrato da Plinio, di molti cavalieri romani e viandanti, che stettero a contemplare il fenomeno d'in sulla via Emilia, d'onde è appunto visibile la salsa di Sassuolo. Lo si può desumere anche dal fatto, che quella salsa vanta una serie di eruzioni storiche e di tale imponenza, che se ne conservò memoria anche in tempi, in cui poco si badava ai fenomeni naturali. Prescindendo da eruzioni che pare siano avvenute, stando a certi ricordi molto ambigui, nei secoli XV e XVI, sono assolutamente storiche quelle degli anni 1601, 1684, 1711, 1781, 1787, 1790. L'ultima eruzione avvenne nel 1835, e ne ricorderemo i particolari, potendoci essa servire di tipo di questi singolari fenomeni, che, ripetuti le tante volte in tante diverse regioni del globo, vestono tutta l'importanza di fenomeni tellurici, non indegni di essere registrati a fianco delle eruzioni vulcaniche.

740. « Nel giorno 4 giugno 1835, essendo il cielo purissimo e sereno, e l'aere temperato, fu sentito in questi dintorni un odore acutissimo di petrolio, che ad alcuni pareva di solfo, e pochi momenti appresso si scosse il terreno, e s'udì uno scoppio simile a quello del cannone. Erano le 5, 16'. Lo scuotimento fu sentito con qualche forza a Sassuolo, a S. Michele, e dà Castellarano fino a Baiso fu commossa tutta la zona montuosa, che si stende tra il Secchia ed il Trasimaro. Allora si vide levarsi su questa salsa, di cui era scomparsa quasi la traccia, una colonna di denso fumo all'altezza di circa 50 metri; in mezzo a questa scintillarono fiammelle di colore ora giallo, or rossastro od azzurrognolo; dal vertice di essa venivano gettati all'intorno sassi voluminosi e densa fanghiglia argillosa, la quale discorreva giù per le sottoposte pendici. Tale violenta eruzione durò 20 minuti; si rinnovò con minore intensità alle 5 pom. dello stesso giorno; la salsa non tornò in calma perfetta che dopo nove settimane. La materia eruttata fu calcolata approssimativamente un milione e mezzo di metri cubi; è quella che costituisce oggidì questo piano leggermente declive: prima la salsa si apriva sul margine d'un burrone [1]. »

741. Certamente una tale serie di poderose eruzioni che scossero talvolta fino le città della Romagna, e balestrarono de' massi di ottocento libbre, dove aver profondamente modificato il suolo circostante, ed ammassata tal copia di fango eruttivo da avere il valore, quando non fosse dispersa dalle acque pluviali, di una vera formazione geologica. Qui poi, come ognuno vede, non trattasi più d'un fango superficiale, diluito immediata-

1. Dal giornale *Il Panaro*, n. 31. Allo stesso modo a un dipresso mi fu descritta la stessa eruzione da testimoni di veduta, quando visitai la salsa di Sassuolo nel 1864, e la trovai ridotta alle umili proporzioni di un pantaneto, da cui si sprigionavano alcune gallozzole di gas infiammabile (Vedi la mia Memoria *I petroli in Italia* nel giornale *Il Politecnico*, volume I e II, 1866).

tamente delle acque pluviali, e ributtato dal gas infiammabile. Qui v'ha qualche cosa di ben profondo: vapore acqueo a grande tensione; alta temperatura; spontaneo incendio. Qui v'ha qualche cosa che si perenna, si riproduce, come nei camini vulcanici. La storia della salsa di Sassuolo è almeno tanto antica, quanto quella del Vesuvio. Quei massi, che la salsa erutta col fango, dicono un'aziono, non solo potente, ma anche assai profonda. Parlasi, p. es., di massi ofiolitici eruttati; ma le ofioliti, ossia le roccie serpentinose, bisogna cercarle molte miglia lontano dalla salsa. Tutto ci dice infine qualche cosa di persistente, di poderoso, di profondo, legato ad un sistema grandioso di forze. I vulcani di fango si presentano in fatti cogli stessi fenomeni in tutte le grandi regioni del globo. Insistiamo principalmente sopra un punto, quello cioè della produzione di roccie, della formazione di terreni, che possono figurare nella serie delle formazioni di tutte le epoche, e quindi rivelarci in tutte le epoche l'esistenza e l'attività di un agente così poderoso. Se vogliamo, in questo senso, apprezzare il valore d'un tale agente, vedere come i vulcani di fango abbiano potuto originare depositi immensi, terrestri e marini, imprimere una fisonomia tutta propria ad intere regioni, caratterizzare localmente un'epoca; dobbiamo portarci in quella regione che si può chiamare l'attuale dominio dei vulcani di fango, dai quali riceve appunto una speciale impronta, e quasi direbbesi la sua attuale costituzione geologica. Questa classica regione si distende ai piedi del Caucaso e sulle rive occidentali del mar Caspio.

742. Dobbiamo ad Abich di potere aggiungere, oso dire, una nuova pagina importantissima alla storia del globo. Chimico e geologo eminente, e vulcanista per eccellenza, risiedendo ora a Tiflis, trovasi precisamente sul campo più opportuno per esercitare il suo ingegno eminentemente osservatore, e per usufruttare quegli studi che l'hanno reso da lungo tempo celebre in Europa. Non credo che al mondo vi sia pel geologo una regione più classica di quella che si distende tra il mar Nero ed il mar Caspio, e sorge irta di catene colossali e di giganteschi vulcani, tra la più profonda intaccatura continentale e la più vasta depressione del globo. Tutto colà risponde all'ideale d'un teatro, ove si operano le più recenti rivoluzioni del globo. I vulcani di fango vi spiegano anch'essi un apparato così imponente, da non rimanere umiliati in faccia a quella portentosa catena di vulcani che vanta l'Ararat e il Demâvend.

743. Il principale teatro delle *secondarie manifestazioni dell'attività vulcanica*, nell'Asia minore, è la regione occidentale del Caspio, che sta tra l'estremità orientale del Caucaso ed il confluente dell'Araxes e del Kur, comprendendo la penisola di Apscheron ed i paesi tra Baku e Soljan.

Quella regione è già da lungo tempo famosa per le sue sorgenti minerali, pe' suoi petrolî e pe' suoi vulcani di fango. Ma essa venne posta sotto ben più splendida luce dal recentissimo lavoro dell'Abich pubblicato in occasione che una poderosa eruzione di fango creava una nuova isola nel Caspio [1]. Noi caviamo da questo importante documento tutti i particolari sui vulcani di fango, che stiamo per esporre, scelti principalmente per mettere in luce l'importanza geologica di agenti e di formazioni, a cui finora, come dissi, ne fu accordata pochissima.

744. Le salse ordinarie abbondano in quelle regioni colle sorgenti minerali. Le sorgenti di Babasanen formano un sistema di terme salino-solfuree e di stagni di acque fangose, salate, da cui ribolle il gas idrogeno carburato, e che si coprono di petrolio schiumoso. Ma ciò è un nonnulla in confronto dei vulcani di fango, i quali si presentano, come dissi, con apparato così imponente, da atteggiarsi a rivali dei veri vulcani. Quei vulcani di fango hanno cono, hanno cratere; sono vere montagne, e costituiscono vere catene di vulcani fangosi, teatro anche attualmente di strepitose eruzioni. Servano alcuni particolari a darci un equo concetto di quelle singolari creazioni geologiche dell'epoca nostra.

Fig. 82. Ottmann Boss, Toragai, Kissilketschii. — Vulcani di fango [2].

745. Una di queste imponenti catene è quella che vanta i tre grandi vulcani Ottmann Boss, Toragai, Kissilketschii (fig. 82). L'Ottmann Boss sorge sopra una piattaforma di terreni stratificati, alta 1000 piedi sul livello del mare. Gli strati sono inclinati in forma di sinclinale, dal cui mezzo, quasi da

[1] Abich, *Ueber eine im caspischen Meere erschienene Insel*, in *Mem. Acad. Saint Petersbourg*, VII Serie, Tom. VI, N. 3.

[2] Questa figura e le seguenti, relative ai vulcani di fango del mar Caspio, sono prese dalla Memoria citata di Abich.

una conca si eleva una cupola dell'altezza di 379 piedi. È un monte creato da un vulcano di fango, e presenta un cratere, formato di sette anelli craterici concentrici, del diametro complessivo di 1200 piedi. Rimane nel centro un vero cratere, teatro delle attuali manifestazioni. Una poderosa eruzione ebbe luogo nel 1854, e durò tre ore. Il Toragai è un monte di fango alto 467 piedi, con un cratere del diametro di 1400 piedi, ed è cir-

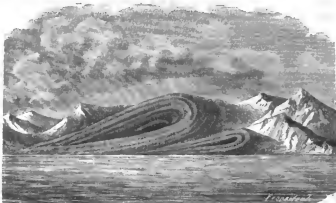



Fig. 83 Cratere dell'Oltmann Boss.

condato da una vera catena di vulcani di fango, che si levano fino a 1403 piedi sul livello del mare. Il Kissiiketschii è una ripetizione del Toragai, ma si leva fino all'altezza di 1400 piedi. La forma dei crateri ad anelli concentrici, che caratterizza questi vulcani di fango, non differisce nè punto nè poco da quella dei veri vulcani, quando però si sostituiscano alle sabbie, ai lapilli, alle scorie, alle lave dei veri vulcani, le poderose correnti di fango e il detrito roccioso, strappato in gran copia dalle masse sottostanti, e misto al fango, in quella stessa guisa che vediamo dovunque, ma principalmente nell'Eifel, interclusi nelle lave tanti brani di roccie straniere.

746. Qui dunque abbiamo dei veri coni, dei veri crateri, un sistema tutto positivo, una vera creazione, dovuta ai vulcani di fango, divenuti emuli dei veri vulcani e capaci di creare, al par di loro, monti e catene di monti. L'apparizione dell'isola Kumani nel mar Caspio ci offre uno splendido esempio di codesta possa creatrice, e ci mostra come i vulcani di fango possano ed abbiano potuto in seno ai mari erigere di getto quelle moli, di cui i veri vulcani ci offrirono saggi brillanti nelle isole Giulia e Sabrina. Prendiamo dall'Abich i seguenti particolari.

747. La regione già descritta, che forma il litorale occidentale del Caspio,

va soggetta a frequenti terremoti, che hanno quasi il loro centro nella città di Schemacha, dirigendosi verso est, e indebolendosi in guisa, che sulle coste riescono appena sensibili. Terribili furono le scosse nel maggio 1859 e nel gennajo 1860. Quei terremoti sono evidentemente legati alle eruzioni fangose, e le annunciano, come annunciano quelle dei veri vulcani. In fatti la notte dell' 11 giugno 1859 ebbe luogo sul lido presso Alat una poderosa eruzione. Lo splendore, quasi d'un vulcano di gas infiammabile, vedevasi benissimo da Baku. Un vascello, ancorato presso l'isola Bulla (fig. 85), a 20 verste dal lido, fu coperto di sabbia di color plumbeo. Il mare era scosso e udivasi un brontolare quasi di tuono in distanza. I terremoti si ripetevano nel 1861. Fu appunto il 7 maggio di detto anno che il comandante dello schooner Turkmen scoprì la nuova isola, che fu detta Kumani (fig. 84), appena apparsa sulla superficie del Caspio a sud di Baku. Ella era certamente, come dissi, appena comparsa, poichè la massa di fango, ond'era composta, era appena disseccata alla superficie, ma molle del resto e ancor calda nell'interno.

Fig. 84. Isola Kumani.

748. Prima del 1861, al posto dell'isola Kumani esisteva un banco, ossia un basso fondo. L'isola appariva come la calotta di una volta, ossia come una lente di molle fango, basata sul fondo del mare. Era regolarmente ovale, lunga 87 metri e larga metri 66, alta 3m.,508. Il fango, ond'era composta, era argilloso, sabbioso, ciottoloso, figurando un rimpasto di frantumi di arenarie o di marne, che costituiscono il sottosuolo marino. L'esattissima figura rilevata dall'Abich mostra ad evidenza che quell'isola era il parto di un vulcano di fango; sicchè la massa fangosa, deversandosi da un punto centrale, e formando un espandimento quasi circolare, correva più verso sud in forma di corrente. Era poi tutta increspata di pieghe concentriche, come qualunque massa viscosa, che uscendo da un orifizio centrale, si dilaghi sul piano. Il

mare esercitava avidamente la sua rapina sull'isola, rodendola da un lato per 29 piedi in quattro settimane. L' erosione mise a nudo lo spaccato, delineato sotto la figura 84, ove si vede chiaramente che il fango eruttivo si è insinuato attraverso una spaccatura del terreno fondamentale, espandendosi poi sul fondo del mare. L' erosione marina non acconsentì che una esistenza effimera a quella nuova creatura. Scoperta il 7 maggio 1861, era già scomparsa nel novembre dello stesso anno. Un basso fondo, di due piedi di profondità, indicava il luogo dove l'isola era sôrta; ma nel gennajo 1863 lo scandaglio vi notava da 12 a 13 piedi di profondità.

749. Ciò non vuol dire non pertanto che i vulcani di fango non possano, come i veri vulcani, erigere in seno al mare degli stabili edificî. Un vero arcipelago d' isole fangose (fig. 85), alcune delle quali assai vaste, offre il mar Caspio nei paraggi stessi ove sorse l' isola Kumani. L' isola Bulla, una delle più importanti, può darci un' idea di quello strano arcipelago. È ovale anch'essa, lunga 8050 piedi e larga 4550. Sembra, veduta dal mare, una

Fig. 85. Arcipelago di isole di fango nel mar Caspio [1]

[1] La figura 85 presenta la carta di una parte del litorale occidentale del mar Caspio, compresa tra il 39° e il 40° di latitudine nord. Oltre le isole, anche i rilievi, indicati topograficamente sul continente, sono di fango eruttivo. Le linee, che congiungono le isole, mettono in evidenza il fatto del parallelismo delle linee eruttive, di cui si terrà conto più tardi.

piattaforma, sorretta da verticali pareti fino all'altezza di 50 piedi. È composta di un conglomerato eruttivo, abbondante di grossi massi. Sulla piattaforma si erge una specie di recinto craterico, che giunge a 150 piedi sul livello del mare. Le correnti di fango che dal cratere si volgono al mare, sono testimoni di ripetute eruzioni, antiche e moderne, tutte però posteriori ad un deposito di conchiglie *subfossili*, come dice l'Abich, e che io interpreto come appartenenti a specie viventi. Una potente eruzione ebbe luogo nel marzo 1857. La corrente di fango che volgevasi al mare, acquistò una larghezza di 1200 piedi. Un diluvio di piccole palle, o bombe, venne balestrato in alto dall'eruzione, e pervenne fino al lido. Erano della grossezza di una fava, informi, rigonfie e porose, sicchè galleggiavano sul mare. Non erano in fine che pezzetti di fango-lava, imperfettamente vetrificati alla superficie, nello stato preciso in cui si riduceva il fango eruttivo trattato al cannello. L'esplosione fu preceduta da forti scosse di terremoto nell'isola. Dal fondo craterico rizzossi incessante una fiamma, a guisa di colonna di fuoco, accompagnata da una nube, che indicava, come nei veri vulcani, la presenza e la possa del vapore acqueo. Una gragnuola di pietre veniva lanciata all'ingiro. L'eruzione durò tre quarti d'ora. Sull'ultimo levossi, precisamente come avviene sulle lucerne a lucilina, una fiamma conica, che fu tratta ben lontano sul mare, e svanì. Diversi gorghi si erano aperti, e vomitavano fango.

750. Riflettasi per bene all'importanza di un agente endogene, a cui i geologi accordarono finora così poca attenzione. Trattasi d'un arcipelago d'isole fangose; trattasi di catene di montagne di fango; trattasi d'una potente formazione geologica, che vediamo crescere e dilatarsi attualmente sopra un'area di tanta vastità. Nè qui si limita quella formazione, poichè basta richiamare come lo stesso Abich descrive un altro sistema di montagne di fango, onde sono irte le penisole di Kertsch e di Taman tra il Mar Nero ed il Mar d'Azof[1]. Se, come non è a dubitarsi, i vulcani di fango eruppero in società coi veri vulcani nelle epoche andate, egli è pur necessario che il geologo impari a distinguere un nuovo gruppo di roccie e di formazioni, che deve trovare associate alle lave e ai sedimenti di ogni epoca. Ma per far ciò è d'uopo interrogare più da presso il fenomeno, principalmente per ciò che può rendere riconoscibili i prodotti dell'agente in discorso.

751. Nelle eruzioni fangose si presenta d'ordinario, come protagonista, il gas idrogeno carburato che si accende spontaneamente, o per semplice

[1] *Geologie der Halbinsel Kertsch und Taman*. Mém. Acad. Imp. de St. Petersbourg. Ser. VIII, T. IX, n.° 4.

compressione, o per sfregamento contro le pareti dell'interno cratere. Sappiamo che nell'*acciarino pneumatico* l'aria compressa si eleva a 490° centigradi; che l'esca si accende nei condotti degli apparati per la compressione dei gas; che finalmente scintille elettriche si spiccano, per sfregamento, dai getti di vapore sprigionantisi da una valvola. All'idrogene carburato si mescono o si sostituiscono talora altri gas, per esempio l'azoto, od il gas acido carbonico. Realmente però nel vapore acqueo devesi anche qui, come nei veri vulcani, riconoscere il primario agente fisico chimico e meccanico. La massa eruttata è un fango stemprato nell'acqua: la colonna di fumo è certamente vapor acqueo. Noi abbiamo del resto nella Nuova Zelanda un sistema di vulcani di fango termale, ed in Islanda troviamo una località ove il fango bollente è eruttato, a getti intermittenti, da sette ampî crateri [1]. Il vapore acqueo agisce meccanicamante nelle grandi eruzioni fangose, come nelle eruzioni vulcaniche, sollevando, a guisa delle lave, il fango bollente. Nelle piccole salse la parte meccanica è lasciata ai gas; ma l'effetto è allora debolissimo.

752. Quale è ora l'origine, quale la natura di quel fango? Dissi già come il fango eruttato dalle salse communi, p. es., da quelle di Nirano, sia un fango tutto superficiale, formato dalle acque pluviali, che stemprano le argille. La cosa riesce evidente quando si osserva non esistere le salse che là dove si mostrano superficialmente argille, o roccie capaci di convertirsi in fango a contatto delle acque superficiali. Se le roccie superficiali sono dure, come i calcari, le arenarie, ecc., in luogo d'una *salsa*, abbiamo una *fontana ardente*, cioè un semplice getto di gas infiammabile, fenomeno di cui ci intratterremo più tardi. Nell'Appennino troviamo le salse nei distretti argillosi di Monte Pujanello, di Nirano, di Montegibbio, ecc. Troviamo invece le fontane ardenti nelle località arenacee o calcaree di Porretta, di Barigazzo, di Velleja, ecc. Così tuttavia non potremmo spiegare l'origine del fango, che, nelle regioni del Caucaso, erompe da terreni calcarei in tanta copia, da creare montagne ed isole. Qui il fango formossi, non alla superficie, ma nelle sotterranee profondità.

753. Io non credo tuttavia, che vi sia una differenza essenziale tra il formarsi del fango nelle regioni superficiali dell'Appennino, piuttosto che nelle profondità sotterranee del Caucaso. Perchè si formi del fango altro non si richiede che dell'acqua, ed un terreno che vi si stempri. O trattisi d'acque superficiali, o si parli d'acque circolanti nelle ime profondità della terra, esse formeranno sempre del fango, ovunque incontrino un terreno che si stempri. Vuol dire che il fango, per erompere dalle profondità ter-

[1] FUCHS, *Vulkanische Erscheinungen*, pag. 517.

restri, ha bisogno di una forza meccanica proporzionatamente maggiore. Gli è perciò che le masse di fango, accumulate nell'interno, non potranno, come le lave, vedere la luce, se non quando si verificano poderose eruzioni.

754. Se l'origine del fango, tanto nelle piccole salse, come nei grandi vulcani di fango, è sostanzialmente la stessa, non vorremmo però asserire che risultino identici i caratteri dei fanghi eruttivi, anche nel caso che identici siano i terreni, dal cui impasto i fanghi stessi risultano. Dobbiamo considerare infatti che diversa è l'attività dell'acqua agente alla superficie, da quella dell'acqua stessa che opera a profondità maggiori o minori. Noi ci troveremo meglio in grado più tardi di valutare le conseguenze della profondità avendo sempre presente come la temperatura cresca colla profondità stessa, e come l'acqua, circolante sotto terra, possa acquistare, come vedremo, dietro le esperienze di Daubré, la virtù non solo di impastare, ma di sciogliere i silicati, e di ridurli in un *magma* cristallino. Possiamo intanto stabilire che in ragione della profondità si verificheranno i seguenti effetti:

1.° Una maggiore tensione dei vapori, e quindi una forza meccanica maggiore. Così si spiega la potenza delle eruzioni dei vulcani di fango del Caucaso e di altre località; non potendo l'eruzione aver luogo, se non quando l'acqua sia portata a così elevata temperatura, che, svolgendosi in vapore ad alta tensione, non possa più rimanere compressa a profondità definite.

2.° Sviluppo molteplice d'attività fisica dovuta all'acqua o al vapor acqueo, ma specialmente al gas infiammabile che si sprigiona in gran copia, e si infiamma a contatto dell'atmosfera.

3.° Accrescimento della virtù chimica dell'acqua, per cui è capace di sciogliere, scomporre e ricomporre quelle sostanze, che non potrebbe alla superficie, formando prodotti nuovi, i quali, non sono già un semplice impasto fangoso, ma un magma risultante da una trasformazione chimica. Così si spiega come i fanghi, prodotti dalle vere eruzioni, presentino dei caratteri proprî, pei quali si distinguono affatto dai fanghi superficiali.

755. Della forza meccanica non dovrebbe occorrere di far parola, da che le eruzioni descritte ce ne devono aver dato un'idea più che sufficiente. Ma aggiungeremo alcuni fatti, forniti ci ancora dall'Abich, atti a dar risalto del pari all'azione meccanica che all'azione fisica esercitate dai vulcani di fango. Uno de' colossali vulcani di fango dell'altipiano Hitschik Dasch, che sorge come un vero vulcano, e ne presenta tutti i caratteri (quando alle lave si sostituisca il fango), offre de' cumuli di detrito eruttivo, ove si aprono profonde crepature verticali, le quali s'ina-

bissano in un terreno composto di roccie argillose, rigonfie, fatte rosse dal fuoco, o di masse porose, oscure, liquefatte a guisa di lava vitrea. Guardando in que' crepacci, sembra di spingere lo sguardo entro la bocca di una fornace. Si vede che potenti getti di gas infiammabile sgorgarono da quei crepacci, tali da cuocere e vetrificare le roccie sul loro passaggio. La liquefazione fu abbastanza potente, per crearo delle stallattiti vitree, le quali rivestono e talora ostruiscono il crepaccio. Un altro vulcano di fango, dotto Arsena, sbuca da un calcare contenente conchiglie di specie viventi; è il calcare commune aralo-caspiano, di formazione recente. Ma qui è divenuto marmoreo, cristallino e a banchi irregolari, screpolati, d'apparenza scoriacea, alternanti con una varietà in forma di conglomerato, la cui fisonomia richiama i conglomerati trachitici. Pare che quelle masse calcaree abbiano subito l'influsso di poderose eruzioni di gas infiammabile. Il metamorfismo si osserva anche ne' crepacci, donde sgorgarono le correnti di fango. In un punto del cratere si raccoglie una quantità di acqua, carica di solfato di soda, mantenuta dalle sorgenti, da cui ribolle il gas infiammabile. Il solfato di soda è così abbondante, da formare delle incrostazioni in più luoghi. Anche i fanghi del già citato Ottmann Boss contengono grossi e numerosi massi di molassa, arenarie, con spato calcareo, arragonite, ecc., marne sabbiose, schistose, argille, ecc. I massi d'argilla hanno assunto i caratteri della terra cotta.

756. Risulta dai fatti accennati come i vulcani di fango esercitino dapprima un'azione meccanica, pari a quella dei veri vulcani, sbranando le roccie sul loro passaggio; poi un'azione fisica, assai multiforme ne' suoi effetti, da attribuirsi all'azione immediata del gas che, infiammandosi, cuoce, vetrifica, ecc. Quest'azione fisica dev'essere però tutta superficiale, non potendo il gas infiammarsi che a contatto dell'atmosfera.

757. L'attività chimica, manifestata dai minerali associati al fango, è accertata dalla natura del fango stesso. Ma qui entra ora di mezzo una questione, che, non potendo essere esaurita, non deve nemmeno venirvi trattata. Come non parlammo della genesi delle lave, così non ragioniamo di quella de' fanghi eruttivi, in quanto non trovino una ragione immediata della loro genesi e della loro natura nella semplice azione mollificante dell'acqua interna od esterna, come è il caso delle salse ordinarie. Ma i veri fanghi eruttivi hanno dei caratteri che tradiscono un lavoro molto più complicato.

758. Nota infatti il Bianconi che i fanghi, prodotti dalle grandi eruzioni (e s'intende di quelle che ebbero luogo nell'Appennino), presentano dei caratteri rimarchevolissimi. La loro composizione è assai complicata, risultandone un fango generalmente azzurrastro, macchiato di rosso, verde, giallo,

contenente piriti, ossido di manganese, gesso, con altri minerali e frantumi di roccie d'ogni genere. Dalle analisi dei fanghi eruttivi del Caspio, eseguite dall'Abich, risulta poi tale somiglianza tra essi e le lave dei vulcani, che già si vede, doversi cercare le ragioni della genesi degli uni e delle altre nello stesso agente, o almeno nello stesso sistema di forze che presiede alle interne generazioni telluriche. Le quistioni di genesi interna appartengono tutte alla endografia, dalla quale soltanto possono esaurirsi.

759. Prima però di chiudere affatto l'argomento delle *salse* e dei *vulcani di fango*, non lascerò di far riflettere, come trattisi di un fenomeno che può essere tanto subaereo, quanto sottomarino. Come si hanno vulcani sottomarini, così vi devono essere salse e vulcani di fango sottomarini, capaci di funzionare almeno fino a quella profondità, ove la tensione del vapore e dei gas sia capace di vincere la pressione dell'acqua sovrastante. Come possiamo avere lave sottomarine, possiamo dunque avere fanghi eruttivi sottomarini, che si accumulino, o rapidamente, come nel caso delle grandi eruzioni dei *vulcani di fango*, o lentamente, pel lento lavoro delle *salse*. L' esistenza dell' arcipelago fangoso del Caspio, e l'apparizione dell' isola

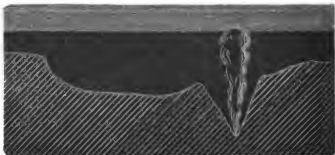



Fig. 86. Salsa sottomarina del mar Caspio [1].

Kumani mettono fuor di questione la cosa. Se quelle isole sorsero dal mare, furono generate da altrettante salse sottomarine. Non ci manca però nemmeno l' esempio di una salsa, che funziona regolarmente sotto al mare. Anch' essa appartiene al Caspio, e ci viene ugualmente descritta dal-l' Abich (fig. 86).

760. Fra le due isole Bulla e Duvani (fig. 85), dove il fondo si mantiene in

[1] La figura 86 è delineata dietro i dati forniti dall'Abich. Credetti però inutile di tener conto di certi particolari, come, p. es., di due punti assai sporgenti, presso il punto di massimo infossamento, che non son altro probabilmente che due scogli che spuntano attraverso il fondo fangoso.

media a 50 piedi inglesi (15 metri circa), in un luogo dove, come nel golfo di Bakn, si levano vivaci correnti di gas infiammabile, lo scandaglio rivelò nna infossatnra imbntiforme (fig. 86). Era il cratere di nna salsa in piena attività; poichè, scoperto e misurato nel gingno del 1860, trovossi ingrandito del doppio, e assai mutato nel gennajo del 1863, presentando allora i segnenti particolari: aveva forma di cratere elittico; il suo asse maggiore era di 700 piedi inglesi; si infossava rapidamente, a modo dei crateri vulcanici, terminando in un gorgo eccentrico della profondità assolnta di 240 piedi, da cui si levava il gas infiammabile. Lo stesso gas sorgeva sopra altri dne pnnti sul margine del gran cratere. Potrebbe domandarsi: perchè quella salsa sottomarina non presentava, non dirò di quei grandi rilievi alla cni produzione sono necessarie le vere eruzioni, come nel caso dell' isola Knmani, ma nemmeno alcuno degli ordinarî conetti delle salse. Ma si ricordi che le stesse salse snbaeree si trasformano in un eguale pantano in segnito alle pioggie. Il fango, che gorgoglia dalle salse sottomarine, quando sia in poca qnantità, non può che intorbidar l' acqua del mare, che lo andrà mano mano disperdendo all'ingiro. Così tnttavia possono le salse creare vasti depositi sottomarini di fanghi eruttivi, o modificare profondamente la natura dei sedimenti, che si vanno formando, esercitando naturalmente una poderosa influenza (fnnesta s' intende) sulla animalizzazione dei mari.

Passiamo ad altre manifestazioni, molto affini a qnelle delle *salse*, di cni ripetono talora i fenomeni, già compresi anche questi nel numero di qnelli presentati dai veri vulcani.

CAPITOLO X.

STUFE E SORGENTI GEYSERIANE.

761. In questa nuova categoria di manifestazioni l'agente primario è l'acqua, che nelle manifestazioni precedenti figurò come secondario, lasciando il primo posto al gas idrogeno carburato. L'acqua allo stato di vapore genera le *stufe:* allo stato liquido alimenta le *sorgenti geyseriane.*

Si dirà che noi ritorniamo sul sentiero già trito. Gli sbuffi di vapor acqueo, cioè le *stufe*, e i getti d'acqua ribollenti, cioè i *geyser*, non sono essi in fine altro che sorgenti? E delle sorgenti non si è già trattato quant'era bastante? Sì, le *stufe* e i *geyser* non sono che sorgenti, a cui si addice per eccellenza il predicato di termo-minerali. Ma riflettete che gli stessi vulcani non sono in fine che grandi stufe, e come tali andrebbero classati anch'essi tra le sorgenti. Nè io vorrò menomare il valore di avvicinamenti tanto logici: vorrei anzi che fosse stabilita come verità fondamentale questa, che i vulcani non sono in fine altro che sorgenti. Ma non affrettiamoci di troppo verso ciò che ha di più ardito la sintesi. Nel campo dell'analisi, in cui ci trattiene la dinamica terrestre, le stufe e le sorgenti geyseriane, come i vulcani, vanno considerate più per ciò che hanno di particolare e di individuale, che per ciò che vantano di generale e di commune. Diremo a suo tempo che il vulcanismo non è che una conseguenza della circolazione sotterranea delle acque, e che per conseguenza i fenomeni vulcanici non sono che parziali manifestazioni di un'attività interna, che è dalle acque circolanti generata e intrattenuta. Per ora accontentiamoci di considerare le *stufe* e i *geyser* come immediate manifestazioni del vulcanismo.

762. Che cosa è una *stufa?* Non altro che una emanazione, o sbuffo di vapor acqueo. Parecchi di questi sbuffi si osservano nei distretti vulcanici d'Italia, come nei dintorni di Napoli, ove sono celebri le stufe di Nerone, caverne che io credo artificiali, continuamente occupate da vapore acqueo, che vi mantiene una temperatura altissima, nelle Lipari e nell'isola d'Ischia. Thomson osservò, che le fessure vaporifere si rivestono di una in-

crostazione silicea. Del resto le *stufe* caratterizzano, forse esclusivamente i distretti vulcanici: e ci vuol fatica a non considerarle come fenomeni che dipendono immediatamente dai vulcani, anzi come pretti fenomeni vulcanici. Le fumajuole, caratterizzanti quella fase dei vulcani, che abbiamo chiamata fase di solfatara, non sono in fine che *stufe*, cioè sbuffi di vapori acquei, con tenue miscela di gas (§ 644). Il cratere estinto, detto solfatara di Pozzuoli, non presenta in fine altro che una gran *stufa*, cioè una colonna di vapori acquei, misti ad altre sostanze, le quali gli communicano un'attività genetica e metamorfica, di cui cercheremo più tardi di penetrare il mistero.

763. La Nuova Zelanda, illustrata da Hochstetter, è, come ogni regione vulcanica, ricca di fenomeni di questo genere. Nella valle di Waikato i vapori di una infinità di stufe occupano l'aria sopra un miglio di lunghezza. Lo stesso avviene in altri punti. Quella che io prenderei come tipo, è la stufa pi Karapiti nella valle di Otumaheke (fig. 87). Un ruscello scorre per quella

Fig. 87. Stufa di Karapiti.

valle, la cui temperatura non è che di 21 centigradi: ma il suolo, tutto caldo e fangoso, è disseminato di fori e crepacci, che soffiano vapori. Il fango ribolle sotto l'impulso di quei vapori, e si stabiliscono qua e là vulcanetti di fango. La gran stufa è sulla sinistra della valle, e vi si accede difficilmente, stante la natura tutta fangosa del suolo. Un getto di vapor acqueo, denso, compatto, esce da un foro rotondo, scavato dal vapore stesso, a piè di un colle, fra i ciottoli di pomice, fischiando e urlando spaventosamente, come si sprigionasse da una valvola di sicurezza di enorme caldaja, portata al più alto grado di tensione. La forza del vapore è tale

che i corpi lanciati in quel foro, vengono rigettati alla distanza di 20 a 30 piedi[1].

764. Abbiamo detto testè, che il fango, ribollente per l'impulso dei vapori, dà luogo alla formazione di vulcanetti. Spesso in fatti la *stufa* si presenta sotto la forma di una *salsa*, o di un *vulcano di fango*, da cui, per ciò che riguarda i fenomeni più apparenti, punto non si distinguerebbe. Ma l'agente principale nelle salse è l'idrogene carburato; nelle stufe salsiformi è il vapor acqueo. Il formarsi di un vulcanetto, ossia di un cono con un cratere, da cui il fango ribolle, è tutto dipendente da quella forza d'espansione, la quale è propria tanto dei gas quanto dei vapori acquei. Sbuchi da un suolo fangoso, sia un getto di gas, sia un getto di vapore, ne nascerà un vulcanetto. Le stufe hanno, in confronto delle salse, una ragione più immediata della propria trasformazione in vulcanetto, prestando esse per sè l'acqua necessaria alla formazione del fango. Nei distretti vulcanici, ove così facilmente le roccie si decompongono per l'azione dei gas, l'esistenza del fango, quindi la formazione di vulcanetti fangosi, sono una vera necessità nei punti ove si sviluppi il vapor acqueo. Anche il cratere del Papandayang (§ 655) ci presentò già un gruppo di vulcanetti, mantenuti attivi dal vapor acqueo. Ma il più bell'esempio che io trovassi citato finora è quello delle *ausoles* dell'America centrale, regione vulcanica per eccellenza.

765. Le *ausoles* o vulcani di fango di Ahuachapam, tra questo paese e

Fig. 88. Ausoles di Ahuachapam.

San Jean de Dios, sono descritte dai già citati autori della geologia delle Repubbliche di Guatemala e San Salvador[2]. Le manifestazioni secondarie del vulcanismo si rimarcano in quel luogo sopra una linea di circa 30 chilometri, quasi perpendicolare alla linea dei veri vulcani, di cui non sono

[1] Hochstetter, *Neu-Zeeland*, pag. 254.
[2] *Mission scientifique au Mexique.*

che una immediata dipendenza. Dalla roccia compatta delle montagne in quei luoghi non escono che sorgenti calde[1], le quali si convertono in ruscelli. Ma il piano ove esistono le ausoles consta di una massa tufacea, assai attaccabile agli acidi, che trasformasi per ciò facilmente in una pasta argillosa, pura, fina, tenace, che si spappola facilmente nell'acqua, formando un fango. Di questo fango si compongono quei vulcanetti che il vapor acqueo alimenta. Poco lungi infatti dalle ausoles, e a 100 m. sul fianco della montagna, si osserva una fessura nella solida roccia, lunga 10 m. e larga 0,25. Quella fessura è una stufa coi caratteri ordinarî: ne esce cioè fischiando un gran corpo di vapore acqueo, reso impuro dai gas acido solforoso, idrogeno solforato, acido carbonico e azoto. Lì presso alcuni bacini, ove si raccolgono le sorgenti, presentano i fenomeni di fontane bollenti. L'acqua tuttavia non ha che una temperatura di 79° a 88°, sicchè l'ebollizione non è che apparente, prodotta dallo svolgimento del gas acido carbonico quasi puro. È però evidente, secondo i citati autori, che quelle fontane bollenti sono intrattenute dallo stesso vapore impuro, che forma la stufa sulla montagna: ma il vapore acqueo, l'acido solforoso e l'idrogeno solforato, restano sciolti nell'acqua, rimanendo libero sòlo il gas acido carbonico che se ne svolge.

766. Le ausoles propriamente dette occupano a' piedi della montagna una specie di piattaforma argillosa, cinta da una specie di parapetto alto da m. 1, 50 a 2 m. Si trovano dunque in una depressione, il cui fondo però si lega, dalla parte di nord, al gran piano di Ahnachapam. Consistono in tre laghi di fango, e in una dozzina circa di vulcanetti. Il maggiore dei laghi, che si vede assai bene nell'unito disegno (fig. 88), consiste in uno stagno di bruna belletta, apparentemente in istato di violenta ebollizione. Ha 12 m. di diametro, ed è scavato nel suolo argilloso. Il bollore è così forte al centro, che l'acqua vi si leva fino all'altezza di 1 m. sul pelo ordinario. L'acqua ha una temperatura di 97°, e se ne svolge il vapor acqueo in gran copia, con un po' dei quattro gas suddetti. I *vulcani di fango* consistono in coni craterici del preciso modello di quelli delle salse. Due di quei vulcanetti presentavano il fenomeno di vere eruzioni di fango intermittenti, spruzzi di fango venendo lanciati all'altezza di 4 o 5 m. ogni 3 o 4 minuti. In altri si udiva un interno ribollimento, e il vapore sfuggiva dalla sommità e dai fianchi. Alcuni erano spenti, ma caldissimi, composti di argilla indurita e sparsi di solfo e di croste di allume: alcuni finalmente erano già freddi e affatto inattivi.

---

[1] Gli autori non dicono precisamente che quelle sorgenti siano calde, ma lo si rileva dal contesto.

Veniamo ora alle sorgenti geyseriane, così chiamate perchè il loro tipo è offerto dai celebri Geyser d'Islanda.

767. Nell'isola eminentemente vulcanica d'Islanda, al piede del Biarnafell, si slanciano dal suolo più di 40 sorgenti silicee. Quella che è detta Piccolo Geysor, forma un getto alto da 20 a 30 piedi. Le due più considerevoli sono il Gran Geyser e lo Strokkr. Il Gran Goyser possiedo un cratere a cono troncato, alto da 20 a 30 piedi, formato di strati orizzontali di selce concreta. Nel cono è scavato un bacino piatto, dol diametro di m. 52, che si continua nel mezzo con tubo del diametro di circa 17 piedi, il quale si sprofonda, a pareti verticali, fino alla profondità di 70 piedi. L'acqua a 82° riempie continuamente il bacino. Ad intervalli assai regolari, di un'ora o venti minuti a un'ora e mezzo, una specie di tuono annuncia l'eruzione dal fondo del cratere. Immediatamente getti d'acqua, dello spessore di 9 piedi, tra i quali 5 più grandi degli altri, si succedono immediatamente, slanciandosi a 100 e fino a 140 piedi d'altezza.

A 68 piedi di profondità, poco prima dell'eruzione, l'acqua fu trovata di 127°; era di 124°,2 durante l'eruzione; seguita l'eruzione, cadeva a 122°, e alla superficie del bacino non era che di 84° a 85°. Lo Strokkr ha eruzioni più frequenti, senza previe detonazioni. A 40 piedi di profondità l'acqua era a 113° o 115° appena avanti l'eruzione.

768. Si immaginarono diversi sistemi per spiegare tale fenomeno. Il preferito fu quello di una massa gasosa che, condensandosi nella parte superiore di una grande caldaja, non potesse sprigionarsi, che sospingendo l'acqua, finchè raggiungesse un'uscita più in basso, donde uscisse spingendo l'acqua stessa violentemente in alto. Secondo Bunsen, non v'ha bisogno di straordinari apparati: che, in vero, non potrebbero supporsi esistenti sotto a ciascun geyser. Secondo lui, quella parte della colonna d'acqua situata più basso, che sotto la pressione dei vapori accumulati ha acquistato un alto grado di temperatura, è spinta avanti, ossia più in alto, e non subisce più quella pressione che risponda alla sua temperatura. Continuerebbe quindi, se ho bene inteso, il suo moto di ascesa, finchè venga a slanciarsi violentemente alla superficie. Il fenomeno dei geyser potrebbe dunque, per mio avviso, definirsi come un fenomeno di semplice ebollizione di un liquido abbastanza denso, avente un'altezza enorme [1].

[1] L'ebollizione è già per sè un fenomeno intermittente. L'intermittenza si osserva molto decisa in un liquido, che levi appena il bollore, nell'istante cioè, in cui le prime bolle di vapore ascendono affatto isolate, e si succedono l'una l'altra con intervallo apprezziabile. La più volgare esperienza ci insegna, che un liquido in un vaso bolle tanto più lentamente (cioè l'intermittenza del bollore è tanto più decisa) quanto il liquido stesso è più denso, ovvero è più alta la colonna che incombe alla superficie calorifera, cioè al fondo del vaso,

Calcolando semplicemente in baso all'accrescimento graduato della temperatura in ragione della profondità, il Gran Geysor dovrebbe derivare da una profondità almeno di 3600 metri. Ma la natura eminentemente vulcanica dell'Islanda rende abbastanza ragionevole il supposto, che all'immediata applicazione del calore vulcanico, pinttosto che alla profondità, e quindi al calorico interno propriamente detto, debba attribuirsi la temperatura di quelle meravigliose sorgenti. Non cessano però di essere una fra le più imponenti manifestazioni della attività interna del globo. Richiamo specialmente la vostra attenzione sulla facoltà, così spiccata nel Geyser, di tener sciolta la selce e di depositarla quindi allo stato solido.

769. I geyser e le sorgenti geyseriane, la cui principale caratteristica sta nel deposito siliceo, non sono un privilegio esclusivo dell'Islanda. Ne esistono altrove, per esempio, nelle Azzore. Anzi il regno del *geyserismo* non è nemmeno l'Islanda, la quale ha perdnto il suo primato dopo che Hochstetter ci raccontò le maraviglie della Nuova Zelanda. Abbiamo già parlato delle stufe e dei vulcanetti di fango della valle di Otumaheke (§ 759). Ma il gran distretto geyseriano è quello di Orakeikorako (fig. 89), che si distende per circa un miglio sulle due sponde del Waikato. Vi si contano almeno 76 di queste, a un tempo, stufe, fontane, geyser, che gli Neozelandesi chiamano *puia*. La puia te-mimi-a-Homaiterangi presenta un bacino che vedesi d'improvviso bollire, mentre una colonna d'acqua è lanciata all'altezza di 20 piedi. Un secondo getto, alto 2 piedi soltanto, tien dietro al primo, alla distanza di 1 minuto e $^1/_2$. Due minuti più tardi il cratere imbutiforme è vuoto, e ne escono colonne di fumo. Passano 10 minuti, e il bacino è di nuovo ripieno d'acqua, alla temperatura di 94° centigradi. L'eruzione ripiglia a intervalli misurati di circa due ore. Anche qui la selce, di cui è ricca quella sorgente, si depone, molle e gelatinosa dapprima; ma indurendosi poi, imita per bene le varietà della focaja. Una copiosa sorgente, che bolle incessantemente, sollevando un bollore di 2 a 3 piedi di altezza, e la cui temperatura è di 98° centigradi, era divenuta un vero geyser in seguito a un terremoto nel 1848. Per due

eve il vapore si svolge. E così dev'essere, poichè, aumentando il peso o la densità del liquido, si aumenta la pressiene che il vapore deve superare per isvolgersi; e per superarla dovrà acquistare una temperatura maggiore, e quindi impiegar maggior tempo. Questo dippiù sarà misurato dall'intermittenza, cioè dall'intervalle che separa le bolle, le quali si vanno successivamente formando. Ogni bolla acquisterà inoltre uea tensiene maggiore, e sarà quindi capace di una azione meccanica più forte. Noe c'è dunque nella di strano ie ciò che una celonna d'acqua, densa di minerali, alta centinaja e forse migliaja di metri, bolla a lunghi ietervalli, e che il vapore, che deve aver acqeistato uea ferte tensioee, levandosi stretto eetro un tubo così lungo ed angusto, scoppi con forza, lanciando l'acqua a considerevoli altezze.

anni continui lanciava la sua colonna d'acqua bollente fino a 100 piedi di altezza. Li presso vi hanno stagni di fango bollente, colorato in rosso dall'ossido di ferro, e vulcani di fango, tra i qnali se ne distingue uno

Fig. 89. Distretto geyseriano di Orakeikorako nella Nuova Zelanda.

avente un cono craterico dell'altezza di 10 piedi. Il vapor acqueo scoppia incessante dalle tumide bolle.

770. Ma il *non plus ultra* dell'attuale geyserismo è presentato dal Ro-

tomahana, un vero lago di acqua calda, lungo 3 miglia e largo 1. In più punti, anche nel mezzo, la temperatura delle sue acque si mantiene tra 30° e 40° centigradi, ed è ancora di 26° presso il suo emissario. Quel bagno colossale è mantenuto dalle molte sorgenti calde che vi mettono foce all'ingiro, o ne sgorgano dal fondo. Meraviglioso fra quelle sorgenti è il Te-ta-rata, posto in un infossamento crateriforme, a 80 piedi sul livello del lago, sulla sponda settentrionale. Consiste in parecchi bacini d'acqua sorgente, il massimo dei quali è lungo 80 piedi e largo 60. È spettacolo sorprendente quell'acqua limpida, d'un bellissimo azzurro[1], che ribolle alzandosi parecchi piedi entro un bacino di candido eristallo, incrostato cioè dal *sinter* (la selce dei geyser). Nubi di vapore, a riflessi cilestrini, nnotano vorticose sopra il bacino. L'acqua nel mezzo di esso ha probabilmente la vera temperatura dell'acqua bollente; ma sulle sponde non raggiunge che gli 84° centigradi. Riversandosi continuamente giù dal pendio della montagna, per gettarsi nel lago, si costrusse, colle sue incrostazioni, una meravigliosa gradinata, che direbbesi tutta di bianco marmo. Dai margini prominenti dei gradini pendono graziose stallatiti, e i piani di essi sono tempestati di limpidi stagni di acqua cilestrina. Il complesso produce allo sguardo l'effetto di una spumeggiante cascata, impietrita nell'atto che discende co' suoi vortici volubili. Violenti eruzioni vuotano di quando in quando il bacino, che appare di una profondità di 30 piedi: ma ben presto esso si riempie di nuovo.

771. Non lungi ferve il grande Ngahapu, una vera caldaja, lunga 40 piedi, larga 30, che, ad intervalli di pochi secondi, solleva tumultuosa un bollore di 8 a 10 piedi di altezza, rovesciando da' suoi labbri torrenti spumosi di acque bollenti. Più a sud il Te-Takupo lancia colonne d'acqua bollente all'altezza di 30 a 40 piedi da una vasen, che ha 10 piedi di

[1] Si osserva che l'acqua marina, condensandosi, sia in seno alle correnti equatoriali, sia nelle saline, piglia un colore azzurro. Pare dunque che l'acqua limpida, ma carica di sostanze disciolte, agisca in questo senso sulla rifrazione della luce, qualunque sia la natura de'sali, i quali vi sono disciolti. La così detta *Solfatara di Tivoli*, prima lago, poi fiume di acqua incrostante, che apprestò quasi sola, col suo enorme deposito di travertino, il materiale dell'antica e della moderna Roma, forma, dove sgorga, un lago d'acqua effervescente, per lo sviluppo del gas acido carbonico in copia ingente associato al gas solfidrico. Il lago stesso mi apparve d'un bellissimo azzurro, quasi formato da una tintura di color indaco limpidissima. Il suo emissario invece, come lo indica il nome di *Acque albule*, è bianchiccio, d'un color lattiginoso, dovuto assai probabilmente ad una soluzione di solfo termogene, lasciato libero per la decomposizione del gas solfidrico, che si opera immediatamente al contatto dell'atmosfera. Ci insegna difatti la chimica, che, mettendo a contatto coll'ossigene o (il che vale lo stesso) coll'aria una soluzione di gas solfidrico nell'acqua, tosto si separa dallo solfo, che rimane in sospensione, e rende il liquido lattiginoso. Il lago stesso, azzurro nel fondo, come dissi, si copre di spume lattiginose, viscide, risultanti probabilmente di una combinazione del solfo termogene coi sali calcarei.

lunghezza. Il Koingo non rigetta che tre o quattro volte al giorno. Il Watapoho è a volte a volte goyser e a volte a volte stufa, lanciando, da un foro rotondo, quando un getto d'acqua, quando una colonna di vapore, misto ad acido solforico. Più lungi si schiude il Waikanapunapa, una specie di cratere, nudo di vegetazione, a pareti lacere e fesse, che cingono di rupi fantastiche d'argilla azzurra e rossa un fondo di fina belletta, su cui lastre di sinter sono sparse a modo di frantumi di ghiaccio. Entro quel cratere si radunano tutte le meraviglie di cui ci occupiamo al presente. Qui una palude di fango fumante; là un bacino di acqua bollente; quinci da un foro fischia il vapore; quindi diversi vulcanetti eruttano fango: là in fondo finalmente sta il Rotopunamu, una volta geyser, ora semplicemente verde laghetto.

Tutte queste meraviglie sono distribuite sul pendio di un colle, il quale non vanta più di 200 piedi d'altezza. Ma il vapore sbuffa da più di cento altre aperture. In fine tutto il lago, come lo mostra la figura 89, è circondato di stufe, di fontane bollenti e di geyser. Eppure quel lago meraviglioso non segna che un punto sopra una zona di 120 miglia, dove le mille volte si ripetono gli stessi portenti.

772. Alla famiglia delle stufe appartengono i *soffioni boraciferi* di Toscana. Sarebbero come l'anello fra le stufe e le emanazioni gasose, essendo composti di vapori acquei a cui si associano dei gas in gran copia. Si assomigliano anche sotto qualche rapporto ai geyser [1].

I soffioni occupano un'area di 33 miglia geografiche nella regione dei colli della Maremma toscana, tra l'alta valle di Cecina e la valle della Cornia. Se ne incontrano sulla via da Volterra a Massa marittima. Così sono distribuiti in gruppi da 16 a 40 ciascuno. Sul confluente della Cecina abbiamo il gruppo di Monte Cerboli: sul confluente della Cornia osservansi i gruppi di Serrazzano, Lustignano, Lago solfureo, Monterotondo e Sasso. Sulle eminenze e nelle valli, dalle rupi come dal piano, dal suolo asciutto come dai fossati, si sprigiona un vapore denso e cocente. Se dagli asciutti crepacci, prorompe, quasi da una caldaja, o sibila e sbuffa, con una tensione di due a tre atmosfere, e una temperatura di 120 centigradi; dai fossati gorgoglia incessantemente, talora con strepito, talora con getti tumultuosi, che ricordano i geyser. L'acqua attraversata dai vapori acquista una temperatura di 93.° a 95.° Le condizioni diverse, per altro accidentali, di quei getti di vapori, sono indicate coi diversi nomi, usati in quei luoghi, di *soffioni, fumacchi, lagoni*. Sono del resto estremamente variabili.

[1] Le notizie concernenti i soffioni boraciferi della Toscana sono attinte per intero alla importantissima Memoria del Prof. Meneghini, pubblicata nel 1867, *Sulla produzione dell'acido borico.*

773. Anzi tutto i *soffioni* sono sensibilissimi alle vicende atmosferiche. Mentre talora, taciti, in sottili colonne, sfumano nell'aria serena; sibilano ribollono e distendono nna densa nebbia sul paese, quando il tempo volge alla pioggia. Un'altra proprietà singolare di qnei soffioni è il loro migrare da luogo a luogo, durando relativamente poco tempo in un medesimo posto. Nel gruppo di Larderello, p. es., esisteva un *lagone*, descritto da Targioni nel 1842, largo, rotondo, che tutto ribolliva, con forti getti di vapori e vesciche che scoppiavano, e tempeste di spruzzi. Si spense due anni dopo, e si vide nascere altrove un altro lagone di fango bollente. Così sempre agli spenti succedono soffioni novelli: il che vuol dire che trattasi di nna vera migrazione, la quale snccede costantemento con certa legge curiosissima. Per intenderla, bisogna sapere che i diversi gruppi sono, quasi senza eccezione, binati: si corrispondono cioè a due a due, l' nno su di un versante, l' altro sul versante opposto di una stessa eminenza. Così l'uno rimpetto all' altro stanno i gruppi di monte Cerboli e Castelnuovo, di Sasso e di Monterotondo, e i due del lago solfureo. Lo spostamento, ossia la migrazione di due gruppi, snccede in senso opposto rispettivamente per ciascuno: voglio dire cho i due gruppi, divisi da una eminenza, tendono ad avvicinarsi, movendosi incontro a vicenda, salendo quindi da valle a monte. Si narra dei così detti soffioni di Possera, che dalla sinistra dol torrente passarono, altri nell'alveo stesso, altri sulla destra. Alcuni si erano mossi per discendero, ma poi ristettero lungo tempo quasi in forse, finchè, descrivendo un'ampia curva, ripresero il cammino ascendente.

774. La ricomparsa del soffione migrante è fenomeno abbastanza spettacoloso. La terra traballa con rombo sotterraneo; la snperficie del suolo si riscalda, si copre di efflorescenze, si fende. Il piede d'nn uomo o d'una bestia può a qnesto punto determinare lo scoppio. Talora invece il soffione scoppia spontaneo, a gnisa di una mina: il suolo è lanciato in aria e appare un getto di vapore, a cui si unisce talora l' acqna bollente. L'industria, impossessandosi di qnei soffioni, o andando fino a cercarli nelle viscere della terra, ha modificato assai le apparenze del fenomeno, senza però punto alternarno la natnra. [1]

---

[1] L' industria, che cerca ai soffioni l' acido borico, si basa sul fatto che il vapore acqueo, passando attraverso l'acqua, cede a qnesta l'acido borico, materia fissa, solnbile, contennta nei vapori in leggerissima quantità. L'acqua, arricchita a poco a poco di qnel sale, si fa evaporare, finchè il sale stesso si deponga cristallizzato. Gli stagni, ove il descritto processo si verifica, sono detti *lagoni*. Ve ne hanno di natnrali e di artificiali. Si ottiene un lagone artificiale, adunando l' acqua intorno a un soffione che sbuchi all'asciutto. I soffioni stessi si vanno cercando sotterra, non senza pericolo di scoppio improvviso. Quando il soffione emigra, lo si rincorre. Si hanno ora dei *soffioni artesiani*, cercati cioè sotterra col modo stesso con cui si scavano i pozzi artesiani. L'evaporazione dell'acqua si fa in grandi vasche, al modo stesso che

775. La natura dei soffioni è quella, come dissi, di una *stufa*. Per l'abbondanza dei gas, associati al vapore acqueo, si legano alle *emanazioni gasose*, e tra queste specialmente alla *mofetta*, stante la decisa prevalenza del gas acido carbonico.[1] I più recenti studî sui soffioni e sui terreni da cui sbucano, misero in luce del resto tal numero di fatti, per cui questi fenomeni vanno considerati fra le più imponenti manifestazioni dell'attività vulcanica. Un vapore a così alta temperatura, con un corteo di poderosi agenti, di cui è nota ai chimici la distinta attività, non possono attraversare terreni di molto varia natura, senza lasciarvi traccie profonde del loro passaggio.

776. I terreni attraversati dai soffioni sono calcari, schisti argillosi, arenarie e ghiaje. A quante combinazioni possono dar luogo la calce, l'argilla, il quarzo, in presenza di gas attivissimi, tra i quali notiamo il gas acido carbonico, e l'idrogeno solfurato, dei quali ci è già noto il potere metamorfico esercitato sulle roccie di diversa natura. Frutto primario di tali combinazioni è il solfato di calce, ossia il gesso, che può ritenersi prodotto dalla trasformazione del calcare, operata dal gas idrogeno solforato, che trovammo presente nei soffioni. Il gesso impregna ovunque le roccie, isolandosi qua o là in ammassi e ventri gemmati. Nelle roccie sono egualmente sparsi i solfati di allumina, di magnesia, di ferro e il solfuro di ferro. Non mancano nè il minio (solfuro di mercurio) nè il mercurio libero. Le cavità sotterranee sono spesso convertite in bellissime druse cristalline di Boussingaultite, ossia di un minerale, in cui il solfato di ammoniaca è associato ai solfati di ferro, di magnesia e di soda. Come le acque dei

---

si usa pel sale commune. Si utilizzano anche i vapori pel riscaldamento. Basta perciò coprire il lagone, con una specie di botte, che fa le veci di un gasometro fisso. Il vapore è poi guidato, per mezzo di tubi sotto alle caldaje, alle quali communica il proprio calore, promovendone l'evaporazione. Il prodotto annuo si fa ora ascendere a 1,800,000 chilogr. di puro acido borico. Questa cifra è veramente enorme, e atta a darci un'idea grandiosa della potenza chimica che si rivela in queste secondarie manifestazioni del vulcanismo, quando si consideri che l'acido borico non rappresenta che i 46 millesimi delle materie fisse che l'analisi scopre nei soffioni.

[1] Le analisi dei soffioni, eseguite dal prof. Bechi, mostrano che essi contengono:

1.° In 100 parti di gas:		2.° In 5000 parti di materie fisse:	
Gas acido carbonico (CO^2)	87,7	Acido borico	230
Idrogeno solforato (H^2S)	1,3	Materia organica	320
Idrogeno libero	2,2	Solfato d'ammoniaca	1500
Idrogeno carburato (CH^2)	2,0	Solfato di ferro e manganese	750
Azoto	6,8	Solfato di magnesia	1700
		Solfato di soda	500

La così detta materia organica non rappresenta probabilmente che degli idrocarburi fissi ossia del petrolio. Le sostanze bituminose si appalesano infatti all'odorato: anzi il petrolio fu visto natante sui lagoni di Larderello. L'acido borico alla sua volta si trova nei petroli dei Carpazi.

geyser, ajutate principalmente dalla soda in concorso coll'alta temperatura, sciolgono la selce; così, per le stesse ragioni, devono sciòglierla e deporla i soffioni. Non è quindi meraviglia se in quei terreni abbondi la calcedonia, e se a Monterotondo, come rilevò Coquand, i soffioni disciolgono la selce del terreno calcareo-arenaceo, e la depongono in forma di jalite. L'acido borico, come incrosta gli artificiali condotti, così tappezza i sotterranei crepacci, le cavernosità, generandovi a poco a poco degli ammassi considerevoli. Uno di questi, scoperto dalla sonda artesiana alla profondità di 17 m., aveva quasi 7 m. di spessore. Lo stesso acido borico, combinandosi cogli altri elementi, genera, in seno a quei terreni, borati di ammoniaca, di ferro, di calce, di soda. Il fango stesso dei lagoni non è che una miscela di quegli elementi nativi o metamorfici: gesso, iposolfato, solfato e carbonato di ammoniaca; potassa, soda, solfuro d'ammoniaca, tritume di calcare argilloso; il tutto colorato dall'ossido di ferro.[1] Quale immenso lavoro genetico e metamorfico sarebbe a quest'ora rivelato alla scienza, se l'industria, che ha per scopo il guadagno, si fosse adoperata intorno alle salse, ai geyser, alle emanazioni gasose, come adoperossi intorno ai soffioni boraciferi della Toscana!

[1] Il fatto della incrostazione dei condotti artificiali o naturali, ossia della generazione di ammassi minerali nelle cavità sotterranee, presta, a mio avviso, facile spiegazione di quel curioso fenomeno di *emigrazione* presentato dai soffioni. Il soffione, generando minerali, si chiude da sè stesso la via. Verrà un momento in cui, ostrutto il primitivo condotto, si espanderà lateralmente, finchè, guadagnato un sufficiente grado di tensione, si apra altrove uno sfogo.

CAPITOLO XI.

EMANAZIONI GASOSE.

777. Nei fenomeni precedentemente descritti, protagonista è l'acqua ad alta temperatura, o il vapore acqueo. All'acqua ed al vapore acqueo trovammo associati i gas, i quali hanno già una rappresentanza assai distinta nei soffioni boraciferi. In fine le salse, le stufe, i geyser, i soffioni, non sarebbero che altrettante forme di sorgenti termo-minerali, distinte per diversi fenomeni, cui vedemmo tutti già raggrupati nei vulcani. In tutte quelle manifestazioni della interna attività le acque, tenenti in soluzione diverse sostanze, rappresentano la parte primaria; i gas, la parte secondaria. Eccoci ora a un' altra famiglia di manifestazioni, ove i gas rappresentano la prima parte, rimanendo anzi unici padroni della scena.

778. Le *emanazioni gasose* possono distinguersi in tre gruppi principali, che trovano ciascuno un nome nella lingua del paese, che è uno dei più splendidi teatri di tutte le manifestazioni vulcaniche.

Una emanazione che consti di gas acido carbonico, è distinta in Italia col nome di *mofetta*. La mofetta è fenomeno vulcanico per eccellenza: inizia, accompagna, chiude, per dir così, le grandi fasi delle eruzioni vulcaniche. Quando i vulcani sono spenti, la mofetta persiste, e ingombra, p. es., la Grotta del cane presso Napoli, e la Valle del veleno nell' isola di Giava, valle o cratere, seminato degli scheletri degli animali che si affogano in quel bagno letale di gas acido carbonico.[1] La mofetta è caratteristica del resto di tutti i distretti vulcanici, anche de' più antichi, p. es. della Romagna, dell'Alvernia, dell'Eifel, ove sorgono ancora intatti i coni craterici, senza però che la storia vi ricordi una eruzione.

779. Abbiamo già veduto come il gas acido carbonico si sviluppi in gran copia dalle sorgenti minerali, principalmente da quelle chiamate acidule, e dalle incrostanti. Il fenomeno ha luogo anche nei luoghi più distanti dai

[1] Non trovo indicato che la così detta Valle del veleno sia precisamente occupata dalla mofetta; ma lo dicono abbastanza i particolari riferiti circa gli animali che vi si affogano.

vulcani. Le acque di S. Moritz nell'Engadina fervono quasi a modo del vino di Champagne, per l'enorme quantità di gas acido carbonico che se ne svolge. Il pozzo di Neusalzwerk in Germania ne produce annualmente 24 milioni di piedi cubici. Si può dire del resto che non vi ha sorgente che non contenga una certa quantità di gas acido carbonico. Si può quindi conchiudere che la mofetta è fenomeno universale, come la circolazione delle acque, alle quali invariabilmente si associa. Non dimentichiamo però che la mofetta caratterizza specialmente i distretti vulcanici, e che deve annoverarsi anch'essa tra le più imponenti manifestazioni secondarie dell'attività vulcanica.

780. Col nome di *putizza* [1] credo si vogliano significare in Italia, forse senza eccezione, le emanazioni di gas solfidrico o idrogene solforato. Anche questo gas si sviluppa sovente dalle sorgenti, [2] generalmente associato al gas acido carbonico. La così detta Solfatara di Tivoli è una gran sorgente gasosa. Sorgendo nel piano, vi determina un laghetto di forse 300 m. quadrati, che tutto ribolle come un' acqua di Seltz, come ne ribollono ancora sensibilmente fino a due o tre chilometri di distanza dalla sorgente le Acque albule, cioè il fiume perenne nudrito dalla solfatara con un tributo, credo, non minore di un migliajo di metri cubi di acqua al minuto. Il gas è l' acido carbonico; ma gli si associa il solfidrico, che si fa sentire per la puzza anche a qualche chilometro di distanza, quando si è sotto vento. È poi celebre l' emanazione di vapore, con immensa copia di gas idrogeno solforato, che ebbe luogo nel 1847 sul Cerro Azul nelle Cordigliere. Il fianco del Cerro aprissi in molti punti sopra una lunghezza di due leghe. L'eruzione, benchè di soli vapori e gas, emulò, per la forza, le vere eruzioni vulcaniche. I massi furono slanciati in tanta copia, che il suolo all' ingiro rimase coperto di cumuli alti 300 piedi. Durò tre giorni, con terremoto continuo, sviluppandosi di tratto in tratto colonne di vapore, come erompessero da una caldaja a forte tensione. L' odore solfureo era sensibilissimo a più di 100 chilometri di distanza. [3] In questo caso io sto per poco a persuadermi, che si trattasse in fine di una vera eruzione vulcanica, con istraordinario sviluppo di gas idrogeno solforato. Questo gas però pare che si sviluppi sovente anche senz' altro, allo stato di semplice emanazione gazosa.

781. Le emanazioni di gas solfidrico vanno distinte per la loro azione

---

[1] *Putizza*, o anche *puzzola*, certamente da *putire*, o *puzzare*. Le emanazioni di gas idrogeno solforato sono distinte dal loro intollerabile fetore.

[2] Nell'Appennino modenese le sorgenti a gas idrogeno solforato sono comunissime, e vi si distinguono col nome di *acque puzze*.

[3] FUCHS, *Die Vulkanischen Erscheinungen der Erde*, pag. 480

genetica e metamorfica, specialmente in concorso delle roccie calcaree. Il gesso e lo solfo che si formano sovento nei crateri allo stato di solfatara, si generano anche dalla putizza che si sviluppi da un suolo calcareo. Il fenomeno mi si presentò evidentissimo a Tocco nell'Abruzzo. Il gas solfidrico puzzolentissimo vi si svolge alla superficie del suolo, costituito dalle marne mioceniche. Il gesso, sparso come i filoni entro le marne, indica già per sè l'azione metamorfica del gas che le attraversa. Ma il processo si mostra alla superficie in tutta la sua attualità, metamorfizzando i ciottoli di calcare nummolitico, derivati dalle montagne che sovrastano a quella località. Raccogliendo dal suolo alcuno di quei ciottoli, sopra uno spazio, dove l'emanazione era più intensa, li trovai rivestiti di solfo libero polverulento. Spezzandoli, trovai che l'interno era di calcare compatto, mentre l'esterno era convertito in gesso, formante un sottile involucro superficiale. Il carbonato di calce si convertiva dunque in solfato, rimanendo libera una parte dello solfo.

782. Un terzo gruppo importantissimo di emanazioni gasose è quello delle così dette *fontane ardenti*. Il gas idrogeno proto-carbonato, o gas infiammabile, come si svolge sovente dalle acque, così si sviluppa da solo immediatamente dal suolo, in molti luoghi, specialmente nei distretti segnalati dalle altre manifestazioni vulcaniche. La China, verso i confini del Tibet, è celebre per tal genere di manifestazioni. Vi si distinguono col nome di Ho-tsing (sorgenti di fuoco) i getti di gas infiammabile che si ottengono scavando dei pozzi, per servire alla illuminazione, e col nome di Ho-schan i getti spontanei che ardono all'aperto. Celebre è la fontana ardente, che sgorgò con fracasso a sud-ovest di Khioung-tscheou, illuminando tutto all'ingiro il paese, per ben mille anni, cioè a partire dal secondo secolo dell'êra nostra fino al secolo XIII, in cui si spense. Percorrendo le regioni vulcaniche, le fontane ardenti appajono dovunque. Se ne citano sulla penisola greca. Presso Polinia (l'antica Apollonia) esiste, p. es., un deposito d'asfalto, quasi superficiale, della potenza di 40 piedi: a volte a volte vi hanno luogo sgorghi di gas infiammabile. La penisola d'Abscheron (coste occidentali del Caspio) e tutta la regione a sud-est del Caucaso sono località celebri per le emanazioni di gas infiammabile: sono egualmente distinti, per lo stesso fenomeno, i dintorni di Bagdad e Mossul nell'antica Mesopotamia, il sud del Kurdistan, l'isola Nipon nel Giappone, l'isola di Giava, ecc.

783. Il gas infiammabile sgorga in mille punti dell'Appennino, specialmente nell'Emilia. Più spesso si sviluppa dalle sorgenti, specialmente dai pozzi scavati per l'estrazione del petrolio o delle acque salate. Citeremo, ad es., i pozzi petroleiferi di Montechino nel Piacentino, di Miano, S. An-

drea del Taro, ecc., nel Parmigiano, e i pozzi saliferi di Salso Maggiore. Abbiamo inoltre veduto come il gas infiammabile sia il principale agente nelle salse d'Italia e del mondo intero. Ma in Italia si conoscono parecchie vere fontane ardenti. Nella valle del Chero, tra Piacenza e Parma, abbiamo i *fuochi* di Velleja, ardenti quasi al piede delle celebri rovine. L'emanazione del gas infiammabile ha luogo sopra un'area di circa 200 metri quadrati, ed è abbastanza intensa per alimentarvi, su breve spazio, due gruppi di erranti fiammelle. Ugualmente noti sono i *fuochi* di Porretta, nell'alta valle del Reno bolognese, e i *fuochi* di Filigare, o di Pietramala, sulla via postale da Bologna a Firenze. Vi hanno finalmente i *fuochi* di Barigazzo, la più copiosa tra le fontane ardenti dell'Appennino, della quale ci intratteniamo un istante.

784. Barigazzo è un paesello nell'alto Appennino, che s' incontra sulla strada maestra, la quale, partendo da Modena, e seguendo da principio la valle del Panaro, riesce al Passo dell'Abetone, per discendere a Pistoja. Salendo, a pochi passi dal paesello, sulle alture a destra, si trova la Casa dell'inferno. Lì presso, da ignuda rupe, fessa in più parti, sgorga stridendo una vampa, che già da secoli e secoli rompe la notte di quei luoghi ermi e selvaggi. Dicesi che le fiamme errassero sparse, lambendo le rupi su largo spazio. Ora, a furia di interrimenti all'ingiro, si costrinse il gas a raccogliersi tutto sopra un breve spazio centrale. La fiamma così raccolta si ricinse d'una specie di torricciatola circolare, che si chiamò fornace, ove a dir vero si cosse qualche quintale di calce. Quando io ci andai, nel 1864, quella fornace non serviva che di focolaro ai montanari, che ci andavano nelle ore fredde a pigliarsi una fiammata. La fiamma ardeva pigiata, per dir così, in un canto contro la parete. Larga più di un metro, levavasi guizzando fino all'altezza di un metro e mezzo. Diverse fiammelle cerulee svolazzavano libere, lambendo le pareti in altre parti.

I fuochi di Barigazzo hanno per la dinamica terrestre una speciale importanza, come quelli che attestano la diuturnità di tali manifestazioni. Essi ardevano già infatti ai tempi di Plinio [1].

---

[1] I professori Canestrini e Callegari, che pubblicarono nel Giornale *Il Panaro* (Modena, 1866) una serie di *Appendici* sul petrolio e sui fenomeni concomitanti nel Modenese, credono ancora indicate le eruzioni della *salsa* di Sassuolo (§ 739) in quel testo di Plinio: « Exit (flamma) in mutinensi agro statis Vulcano diebus » (Lib 11, cap. 107). Io acconsento più volontieri al Bianconi (*Dei fenomeni geologici operati dal gas idrogene*), che vi ritiene indicati i fuochi di Barigazzo. Parmi ch'essi rispondano meglio all'idea di un fuoco, che esce dal suolo, di un fuoco sacro a un nume, di un fenomeno tranquillo, festivo. Certo l'idea della periodicità, espressa nelle parole di Plinio, implica un problema; ma il problema riguarda ugualmente la *salsa* di Sassuolo, come i *fuochi* di Barigazzo, poichè nè l'una nè gli altri volevano certo adagiarsi a aspettare le feste di Vulcano, per dar segno della loro

785. Fu assai ricevuta (e lo è ancora, almeno in Italia) l'idea di Alessandro Volta, che il gas infiammabile e gli idro-carburi in genere fossere d'origine organica. Il gas idrogene protocarburato, si dice anche *gas delle paludi*, perchè si sviluppa dai vegetali putrescenti nelle acque stagnanti, come si sviluppa, misto ad altri gas, dagli ammassi di combustibili fossili. È probabile, che alcune emanazioni di gas infiammabile, in distretti non vulcanici (quelle indicate, p. es., a Friburgo nella Svizzera, nel Delfinato o nel dipartimento delle Basse Alpi, in Inghilterra e nella Scozia), derivino appunto dalla fermentazione di grandi depositi carboniosi. Il volere però attribuire a tutte le emanazioni di gas infiammabile e agli idrocarburi naturali in genere, un'origine organica, è sostenere una tesi assolutamente contraria ai fatti. Io sostenni la vulcanicità di tutti questi fenomeni (salvo, come dissi, le eccezioni da stabilirsi nei casi pratici) in due apposite memorie [1]. Gli argomenti principali in favore della mia opinione verranno riferiti nel capitolo seguente, in cui tratterò dei petroli, e più tardi in quello dove parlerò dei rapporti di tutti i fenomeni vulcanici fra loro.

786. Abbiamo veduto come i diversi gas, i quali, liberi svolgendosi dalla superficie del suolo, costituiscono un gruppo così esteso e imponente di manifestazioni vulcaniche, si trovino tuttavia più spesso associati alle acque circolanti. Ciò mi fa pensare che le emanazioni gasose non costituiscano un fenomeno a sè, se non in via affatto eccezionale. Io credo cioè che sempre quei gas si svolgano dalle acque, o per lo meno alle acque sempre si associno. È soltanto liberandosi da esse che appajono isolati alla superficie del suolo. Io trovo infatti dapprima che i diversi gas liberi abbondano in quei medesimi distretti, ove abbondano le sorgenti che gli stessi gas contengono. Nell'Eifel, nell'Alvernia, p. es., occorre di frequenti la *mofetta;* ma copiose vi esistono anche le sorgenti a gas acido carbonico. Le fontane ardenti abbondano nell'Appennino dell'Emilia, ma il gas infiammabile vi si svolge pure ovunque dalle sorgenti e dai pozzi. A Tocco osservai la *putizza*, ma l'idrogeno solfurato rende anche fetide le sorgenti in quei dintorni. Io credo adunque che i gas non si mostrino liberi; non presentino, cioè, a parte il fenomeno d'una *emanazione gasosa*, se non in

esistenza. Sarebbe forse una semplice fiaba ammessa senza controllo fra i molti veri? o forse l'impostura sacerdotale faceva monopolio di quel fenomeno, mostrando alla folla stupefatta, nei giorni sacri a Vulcano, dischiusa improvvisamente la sotterranea fucina del nume? Avverto in proposito come un secchio d'acqua, lanciato con forza, basta a spegnere quel fuoco che resiste a un diluvio di pioggia. Un solfanello basta a ridestarlo, quasi la fiamma sgorghi d'improvviso, con sordo strepito, dalle viscere della terra.

[1] *Saggio di una storia naturale dei petroli* (Nel giornale *Il Politecnico*, 1864). — *I petroli in Italia* (Ib., 1866).

quanto essi arrivano alla superficie del suolo, dopo essersi liberati da una sorgente sotterranea. Anzi, tutte le manifestazioni da noi studiate finora, salse e vulcani di fango sotto qualunque forma, stufe, geyser, soffioni, emanazioni gasose, tutte si riducono ad altrettante forme, ad altrettante modalità di sorgenti termo-minerali. Io mi tratterrò alquanto a provare la cosa soltanto per ciò che riguarda le emanazioni del gas infiammabile, che ci si presentarono già sotto tante forme diverse: ma intendo che le deduzioni siano egualmente applicabili alla lettera alla *mofetta*, alla *putizza*, e in genere a qualunque emanazione.

787. Parlando adunque in ispecial modo delle emanazioni di gas infiammabile nel senso delle opinioni or ora espresse, io crederei che le sorgenti e i pozzi a gas idrogene, le salse, le fontane ardenti, non siano infine che forme accidentali, modi di presentarsi, dello stesso fenomeno. Il fenomeno nella sua origine consiste in una sorgente, o meglio in una acqua circolante carica di gas infiammabile. Il manifestarsi poi sotto forma di sorgente, piuttosto che di salsa o di fontana ardente, dipende dalle condizioni fisiche in genere, e specialmente litologiche del suolo. Mi spiegherò con un esempio.

788. Abbiamo veduto come Porretta è località distinta da una fontana ardente, che nel paese chiamasi Vulcanello. Ma essa è ancora più nota per la copia delle sorgenti medicinali, ricche di molti principî, e da cui si svolge il gas infiammabile. I rapporti immediati tra il Vulcanello e le sorgenti a gas idrogene sono così evidenti, che chicchessia li rileverebbe a prima vista. Il paese di Porretta giace allo sbocco del Rio, confluente del Reno, che sorge da una angusta spaccatura della catena, composta di quell'arenaria durissima che i Toscani chiamano *macigno*, e i geologi ascrivono al terreno cocenico. Gli strati di macigno, raddrizzati verticalmente, e in più guise contorti, formano una rupe ignuda, assai pittoresca, che quasi strapiomba sulla sinistra del Rio. A piedi di quella rupe, chiamata Sasso Cardo, sorge lo stabilimento dei bagni, e sgorgano le celebri sorgenti, o meglio una sola sorgente copiosissima, divisa in più rami. Il gas infiammabile si sviluppa in tal copia dalle acque che il bagnante può divertirsi ad accenderlo al robinetto della sua vasca. Il Vulcanello (fig. 90) sorge in cima alla rupe quasi luminoso pennacchio. È una fiamma, dell'altezza di circa un piede, e sgorga da una fessura nella nuda roccia. Una minore fiammella lambe lo scoglio vicino. Del resto l'odorato ci avverte che l'emanazione gasosa investe dovunque più o meno l'altura. Chi può dubitare che il gas, il quale alimenta il Vulcanello in cima alla rupe, non sia quello stesso che sgorga colle sorgenti al piede di essa? Il gas infiammabile, associato alle acque, circola con esse nelle sotterranee profondità. È evidente che presso la

superficie, appena una cavità, un crepaccio, si aprano al disopra dell' acqua circolante, il gas si libera immediatamente da esse acque, e, di natura leggerissimo com'è, si innalza entro il crepaccio stesso, finchè riesce alla cima della rupe, ove alimenta un getto costante. Quella parte di gas (di gran lunga la maggiore) che non esce per quel naturale camino, certamente perchè troppo angusto, continua la sua via colla sorgente, e sgorga al piede della rupe. La cosa è qui lucida come il sole. Qui abbiamo una sorgente a gas idrogene, che alimenta una fontana ardente.

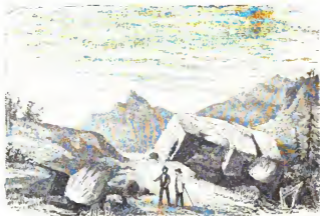



Fig. 90. Vulcanello di Porretta. [1]

789. Supponiamo che il Sasso Cardo, invece di essere una montagna di macigno, fosse una collina di argilla umida, come sogliono essere le argille nelle regioni superficiali; fosse in fine una delle mille colline che sorgono, appena più basso di Porretta, lungo tutto l'Appennino. Il gas, che vi trovasse ugualmente un crepaccio, agirebbe meccanicamente sul fango, trascinandolo seco, e formerebbe, sulla vetta della collina, un vulcanello di fango, insomma una *salsa* [2]. Nè io credo che altrimenti si

---

[1] Questo disegno fu preso dal mio amico professor Taramelli precisamente sulla vetta del Sasso Cardo, che ha la forma di un irregolare altipiano. Si osserva assai bene come il gas inflammabile sgorghi dalle fessure dei grossi banchi di macigno costituenti la montagna, le cui testate sgorgano sull'altipiano a foggia di muraglioni. Le dimensioni delle fiamme sono però esagerate nella incisione.

[2] I terreni argillosi superficiali contengono sempre gran quantità di acqua, sono cioè già per sè stessi terreni fangosi. Ma le sorgenti che per avventura circolassero nell'interno di una massa argillosa, renderebbero anch'esse fangose le argille a contatto. Il gas, svolgen-

formino di fatto le salse, così numerose nell' Appennino. È un fatto che in questa catena le fontane ardenti, quelle, p. es., di Velloja, di Porretta, di Barigazzo, sgorgano dalle roccie compatte: le salse invece di Nirano, di Sassuolo, di Monte Pujanello, ecc., sorgono dai terreni argillosi. Riesce dunque evidente, dal complesso dei fatti e dalle più immediate deduzioni, che le fontane ardenti e le salse si unificano nell' origine colle sorgenti a gas idrogene, il quale, liberandosi dalle acque che sono anche in genere acque salse, nelle regioni superficiali, diviene fontana ardente se attraversa delle roccie compatte, e salsa se ribolle da un terreno fangoso.

790. Le acque di Porretta fatte intervenire, nell' ipotesi, a generare una salsa, risponderebbero anche benissimo a chi domandasse: come mai i rigetti delle salse e dei vulcani di fango sono così ricchi di minerali diversi? Oltre al contenere il cloruro di sodio, da cui si nominano le salse, e il gas infiammabile, che è di esse il primario costitutivo, le acque stesse sono così ricche di principî minerali, da poter dar luogo, in concorso coi diversi elementi del terreno, a mille combinazioni. L' analisi vi ha rilevato l' ossigene, l'azoto, l'acido solfidrico, l'acido carbonico, il joduro e il bromuro di sodio, i carbonati di soda, di calce, di magnesia, la silice, l' allumina, il ferro, l' arsenico.

---

dosi, trascinerebbe seco parte di quel fango così formato. Nel caso nostro la supposta salsa di Porretta avrebbe tutti i requisiti delle vere salse, poichè le sorgenti di quella località sono salate, contenendo quasi nove millesimi di cloruro di sodio. Del resto, l'embrione d'una salsa c'era anche qui, poichè io trovai la fessura del Vulcanello impiastrata di fango umido.

CAPITOLO XII.

I PETROLI.

791. I petroli sono idrocarburi liquidi, o piuttosto una miscela liquida di idrocarburi, che si vanno separando l'uno dopo l'altro quando si distillano. Come uscenti di sotterra, sono da annoverarsi tra i prodotti endogeni, ossia tra le manifestazioni della interna attività del globo. L'opinione più commune però è che i petroli non solo, ma in genere gli idrocarburi (compreso il gas idrogeno proto-carbonato già considerato da noi come fenomeno vulcanico) siano prodotti dalla distillazione sotterranea di ammassi organici, vegetali o animali. Io credo invece che siano veramente prodotti vulcanici dovuti all'azione genetica, immediata delle forze interne. Questa tesi però non può essere trattata, senza tener conto degli ammassi di petrolio, di bitume, di pece, di asfalto, celati nelle viscere della terra, e in rapporto coi diversi terreni, sedimentarî o eruttivi. Non può dunque essere trattata, se non nel campo della geologia, che ci insegnerà a conoscere e apprezzare gli accennati rapporti, e ci dirà anzi tutto che cosa sia questa *attività vulcanica*, di cui finora non studiammo che le manifestazioni esterne. Rimettiamo dunque all'ENDOGRAFIA la questione sull'origine dei petroli.

792. Non ci crediamo però intanto meno autorizzati a considerare i petroli come prodotti vulcanici, non foss' altro pel fatto, che gl' idrocarburi liquidi e il gas infiammabile, il quale da loro ordinariamente non si scompagna, si associano a tutte le manifestazioni vulcaniche finora considerate, tanto che dovrebbero considerarsi piuttosto come una accidentalità commune alle altre manifestazioni, che come una manifestazione a sè. Richiamiamo alcuni fatti, i quali, con altri nuovi, daranno luce all'argomento.

Il petrolio trovasi associato al gas infiammabile nelle sorgenti petroleifere, o pozzi a petrolio, nelle salse, e nelle fontane ardenti in tutte le regioni del globo. Quanto ai pozzi posso citare quelli di Salso Maggiore e di molte località dell' Appennino piacentino e parmigiano; più di tutto i pozzi petroleiferi della Pensilvania, e delle altre regioni petroleifere degli Stati Uniti, che versano torrenti di petrolio, e getti enormi di gas infiam-

mabile. In tutti i pozzi citati è invariabile l'associazione dell'acqua salata col petrolio e col gas infiammabile, sicchè ciascuno di essi potrebbe, in condizioni opportune, trasformarsi in salsa o in fontana ardente. Ma non mancano nè fontane ardenti nè salse ove il petrolio si manifesti. Anzi la sua presenza pare fenomeno così costante, da doversi considerare come caratteristico delle une e delle altre.

793. Famosissima, fin dai tempi più antichi, è la Chimera, fontana ardente della Licia. Le fiamme si elevano da tre o quattro piedi, uscendo da una roccia di serpentino, e un odore aggradevole si spande all'ingiro. Humboldt non dubita che quell'odore gradevole sia odore di nafta. In molte e molte narrazioni si parla di odor di bitume, di odore aggradevole. Certamente un odor bituminoso, se non offende colla sua acutezza, se leggermente diffuso e stemperato nell'aria, ha qualche cosa che piace o almeno non dispiace; sopratutto se si confronti coll'odore di gas solfidrico che si sviluppa spesso dalle emanazioni gasose, come dai vulcani. Pilla attesta più esplicitamente che l'odor di petrolio accompagna sempre le fontane ardenti.

794. Il gas delle salse è ordinariamente idrogene carburato. L'azoto, che fu veduto svilupparsi dalle salse del Turbaco, fu considerato come una vera eccezione. Una pellicola di petrolio galleggia alla superficie dei crateri delle salse della Macaluba; l'odore di petrolio vuolsi si sviluppasse fortissimo dalla salsa di Sassuolo; fango bituminoso fu eruttato dalle salse di Crimea. In fine, si può dire che, in via ordinaria, tre sono le sostanze che caratterizzano la salsa: il sale commune, stemperato nell'acqua in gran copia; il gas idrogeno carburato, e il petrolio. Anche il sale, si badi bene, è prodotto eminentemente vulcanico. Il muriato di soda, infatti, si conta spesso tra i costituenti delle roccie vulcaniche; incrosta, per sublimazione, i crateri; copre, per efflorescenza, le lave.

Ma per abbreviare veniamo tosto ai vulcani, e vediamo come gli idrocarburi non manchino di far parte del corteo che accompagna questa massima manifestazione dell'attività vulcanica del globo.

795. L'idea preconcetta, fissa, radicatissima, che gli idrocarburi non potessero avere altra origine che l'organica, fece sì, che gli studiosi di fisica terrestre si ostinarono lungo tempo a negare la produzione delle fiamme nelle eruzioni vulcaniche, attribuendone i sinistri splendori all'incandescenza del cratere, riflessa dagli immani pennacchi dell'eruzione. Ma Abich e Pilla attestarono la produzione delle fiamme nella eruzione del Vesuvio del 1834 con tale asseveranza e con tale ricchezza di particolari, da togliere ogni dubbio in riguardo alla realtà di un fenomeno, che affratella i vulcani alle fontane ardenti ed alle salse. Il Pilla aveva già

sfidato l'eruzione del 1833, certo non senza grave pericolo, per non lasciar luogo a nessuna illusione. L'eruzione era intermittente; una scossa ondulatoria del cono e un gagliardo rumore sotterraneo annunziavano imminente lo scoppio; una vorticosa colonna di fumo sbucava dal cratere, quasi dalla bocca d'un cannone d'immenso calibro. Al tempo stesso un torrente di gas sprigionavasi da quella bocca, e, condensato immantinente in una colonna di fiamme, si vibrava con impeto in alto, indi spariva tra vortici di fumo. Le osservazioni del Pilla non facevano però altro che confermare quanto ci era già stato narrato da Davy, il quale aveva osservato, nella eruzione del Vesuvio del 1814, fiamme alte 60 yards (circa 55 metri), che continuarono per tre settimane. Lo stesso fenomeno erasi pur già presentato a Gimbermat, il quale, durante l'eruzione del 1820, aveva osservato forti fiamme uscire da una spaccatura, formando una piramide ardente, alta 50 piedi, che fu vista ardere due notti, non essendo visibile di giorno. Del resto, fiamme e fiammelle si videro in un vulcano dell'Isola Bourbon da Bory de S. Vincent, e da Élie de Beaumont sull'Etna, ecc. Certamente alla produzione delle fiamme poteva concorrere, in tutto o in parte, il gas idrogene solfurato; ma nei casi riferiti da Pilla, Davy e Gimbermat, la quantità del gas solfidrico doveva essere enorme, e l'odore lo avrebbe accusato, anzi avrebbe reso impossibile l'accesso al Vesuvio, sapendosi da ognuno quanto il gas solfidrico sia intollerabile e letale. A togliere però ogni dubbio circa la produzione del gas idrogene carburato nelle eruzioni vulcaniche, giunse opportuna l'ultima eruzione vesuviana del 1861. La mofetta conteneva una grande quantità di idrogene carburato. Quella che sgorgava presso Torre del Greco, analizzata da Deville, su cento parti conteneva 59,53 di gas acido carbonico, e 40,47 di gas combustibile, misto ad azoto. L'odore dello idrogene carburato era il dominante, sia in riva al mare, sia nelle vie di Torre del Greco. Ma, per l'abbondanza del gas infiammabile, riuscì veramente spettacolosa l'ultima eruzione di Santorino (1866). Dalle acque, che riempivano il canale tra la nuova isola Aphroessa (§ 691) o la Neakameni, il gas infiammabile si svolgeva in tal copia, che bastava accostare una fiammella qualunque alla superficie del mare, per vedere accendersi, e propagarsi la fiamma assai lontano. Lo stesso gas usciva dai crateri, infiammandosi, talmente che i due coni attivi, Giorgio e Aphroessa, visti di notte, ardevano di vera fiamma, come due roghi. Ci assicurano di tali fatti i signori Fouqué e de Verneuil, testimoni oculari, e troppo dotti perchè si possa dubitare che abbiano preso l'apparenza per la realtà [1].

[1] *Revue des cours scientifiques*, 21 Juillet 1866.

796. E la presenza dei petrolî verificossi ne' vulcani? I rapporti de' petrolî coi vulcani sono tali, che non si saprebbe come escluderli dall' ordine dei prodotti vulcanici. Java è un'isola vulcanica, o piuttosto una serie di 45 vulcani, tra svegli e dormenti. La Billardière vi incontrò una fontana, le cui acque si coprivano di petrolio che vi si andava ammassando. Nell' isola stessa, il cratere del Brama è, secondo Malte-Brun, convertito in un lago d'acqua verdastra fumante, coperta qua e là di schiuma nera che si ritenne petrolio. Narra Dietrich, che nel Kamschatka, paese ove De Buch novera 13 vulcani, il petrolio nuota su diverse sorgenti termali. Intorno alle isole del Capo Verde, gruppo d'isole vulcaniche, Flaccourt vide il mare coperto di petrolio. Una sorgente di petrolio si dilagava sul mare alla base del Vesuvio, ai tempi di Breislak.

797. Resta a vedersi, se mai avvenne che anche di petrolio abbiano pôrto indizî le stesse eruzioni vulcaniche. Burat dice asseverantemente che diversi vulcani, singolarmente il Vesuvio, emisero, a più riprese, vapori bituminosi, che piovvero condensandosi nell'atmosfera.

Nelle descrizioni meno scientifiche delle eruzioni vulcaniche si accenna più volte a quell' odore aggradevole, di cui parlammo più sopra, ritenuto anche da Humboldt come odore di petrolio. Così Strabone parla di una eruzione ignea sulla penisola di Metone, in seguito alla quale si sparse, durante la notte, un odore aggradevole. Humboldt richiama pure un sermone di penitenza recitato nel 1650, in cui il profumo, impossibile a definirsi, che succedette all' odore sgradevole dello solfo, era indicato come un segno consolante che Iddio non voleva la morte del suo gregge spaventato dalla eruzione di Santorino nell' Arcipelago.

798. I seguenti fatti sono svolti da Breislak. Nell' eruzione del 1707, che diè origine alla Micra-Kameni, nuova isola entro la cerchia di Santorino, una sostanza oleosa, irridescente (certamente il petrolio) si distese sulla superficie del mare [1]. Kotzebue nota in un modo tutto particolare che l' isola vulcanica di Oumnack, sôrta recentemente dal mare, lanciando fiamme nel 1804 esalava odore di nafta, come Gay-Lussac constatò che durante la grande eruzione del Vesuvio, il 12 agosto 1805 si spandeva di tanto in tanto un forte odore bituminoso. Humboldt, Gay-Lussac e De Buch erano ascesi sul Vesuvio, mentre era in attività, e furono avvilnppati da una nube di vapore assai denso. Qual sensazione provarono? *On sent l'asphalte*, andavano ripetendo tra loro; *cette odeur est précisément celle du pétrole*. L' impressione si rinnova al ritornar della

[1] Breislak, *Inst. géol.*, III, pag. 33.

nube. Così espone il fatto Breislak [1] citando la *Bibl. britan.*, vol. XXX. Serrao aveva già nel 1737 assicurato l'Accademia di Parigi, che le pietre, o lave scoriacee, eruttate dal Vesuvio, presentavano traccie di petrolio. [2] Lo stesso fatto narra il Ferrara dell'Etna. Egli afferma di aver osservato sovente del petrolio attorno alle fessure del vulcano, presso nuove bocche di eruzione, e di aver più volte raccolte sul labbro de'crateri scorie appena rigettate, madide di petrolio. Fa altrove menzione di lave contenenti nelle loro cavità goccie di nafta giallo-oscura, d'odore fortissimo.

799. Non so intendere come di questi documenti raccolti da Breislak non trovisi memoria nel *Cosmos* dell'Humboldt, che i fatti congeneri raccolse così studiosamente, e potè così conchiudere: « Io ho accostato questi fatti, a cui finora si accordò poca attenzione, perchè essi possono servire a mettere in luce quel concatenamento, che unisce fra loro tutte le manifestazioni dell'attività vulcanica, dalle salse e dalle sorgenti di nafta fino ai vulcani propriamente detti. » Il supporre, come fa Burat, che il bitume e l'odore bituminoso dipendano da ciò, che l'eruzione passi attraverso depositi di combustibili, è un rendere insolubile la questione, precisamente quando è portata al punto più prossimo alla soluzione; è un rendere indiscutibile la tesi; è preferire, sempre e poi sempre, l'ipotesi alle osservazioni. Che quei camini, ardenti da secoli, nutriti dalla combustione delle ime viscere della terra, dopo aver esercitata, come il Vesuvio, per migliaja e migliaja d'anni, la loro attività sopra vaste zone all'ingiro, siansi ancora riservati dei combustibili fossili, da cui distillare il petrolio, è ipotesi veramente strana, e il sostenerla non attesta altro che la forza di antichi pregiudizî o, meglio, d'una tesi accettata senza discussione e che vanta ancora dei diritti tirannici, benchè minata, da ogni parte, da fatti così molteplici, così evidenti.

800. Ma l'argomento principale, in favore della nostra tesi, lo avremo, considerando i petroli e gli idrocarburi in genere, non più come in rapporto colle singole manifestazioni dell'attività vulcanica, ma in intima connessione col vulcanismo in genere, quale si manifesta sul globo, nella sua imponente universalità: vedendo come le sorgenti di petrolio e i distretti petroleiferi si attengano fedelmente, nella loro distribuzione, a quel vasto ma semplicissimo piano, sul quale sono ordinati i vulcani, e tutte le secondarie manifestazioni dell'attività vulcanica.

---

[1] BREISLAK, *Inst. géol.*, III, pag. 32.
[2] *Ib.*, ivi.

CAPITOLO XIII.

I TERREMOTI.

801. Un terremoto, per quanto costituisca un fenomeno imponente, è la più semplice fra le manifestazioni dell'attività interna del globo. Che cosa è in fatti un terremoto? Non altro che un movimento passaggiero, una scossa parziale della crosta del globo, sentita alla superficie. Volendo cercarne la ragione, la stessa semplicità di questa manifestazione ci crea una difficoltà quasi insuperabile. Le altre manifestazioni offrono un complesso di fenomeni, che sono già per sè altrettante manifestazioni, ciascuna delle quali può guidarci a scoprire la causa del fenomeno complessivo. Se poi i singoli fenomeni potessero spiegarsi in un modo piuttosto che nell'altro, sicchè fossi libero di supporre per ciascuno una causa diversa, non mi fermerei finchè non avessi trovata quella causa che li spieghi tutti ugualmente: e questa sarà senza dubbio, o almeno con tutta probabilità, la vera. Ma un terremoto . . . che mi dice esso? Quante cause possono determinare una momentanea oscillazione del suolo? E quale sarà di queste cause la vera?

802. Io credo anzi che gli scarsi progressi della scienza nello studio dei terremoti, dipesero molto da questo, che tutti i terremoti si considerarono come manifestazioni identiche di una causa sempre identica, mentre possono dipendere, anzi certamente dipendono, da cause differenti. Ciascun terremoto può essere un fenomeno a sè; meglio, una manifestazione identica ogni volta per sè, ma varia pure ogni volta nella causa.

803. Come dunque si potranno distinguere, per rapporto alla loro origine, i terremoti, se l'effetto percepito dai sensi è sempre lo stesso? Osservo che un terremoto, per quanto fenomeno semplicissimo, è però accompagnato da circostanze, molte delle quali seppe già cogliere la scienza: circostanze di luogo; circostanze di tempo; talvolta fenomeni concomitanti, ecc. Quei lumi, che non possiamo cavare dal fenomeno per sè stesso, ci possono venir dati dalle circostanze; ed è appunto considerate tali circostanze, che mi pare di poter già a quest'ora distinguere tre categorie di terremoti.

804. Osservo primieramente che il terremoto non manca mai al corteo dei fenomeni, che accompagnano le eruzioni vulcaniche. Esso annunzia l'eruzione da lontano e da vicino, l' accompagna, indebolendosi sempre più, finchè cessa col cessare di essa.

Osservo in secondo luogo che vi sono regioni, che si possono dire in balia dei terremoti, i quali vi imperversano da secoli con terribile ostinazione. Quali sono queste regioni? Il Chilì, per esempio, ove rinnovossi tante volte anche in quest'ultimi tempi; il Perù, dove, stando all'Humboldt, non si bada nemmeno a questo mostro, che inghiotte le città due o tre volte per secolo; il Kamschatka; le regioni occidentali del Caspio, la Grecia, l'Italia centrale e meridionale, ecc. Trattasi in fine di distretti in dipendenza immediata dei vulcani attivi, di regioni *perimetriche*, che si estendono cioè all' ingiro, o sui lati delle zone vulcaniche.

Osservo in terzo luogo che si danno dei terremoti in regioni non vulcaniche, in quelle stesse che distano maggiormente dai vulcani attivi e spenti. Tali terremoti sono assai radi, ma godono in compenso generalmente di una estensione assai più ragguardevole. Considererei come tipo di tali terremoti il così detto terremoto di Lisbona, il quale nel 1785 fe' traballare una superficie di oltre 300,000 miriametri quadrati, e corse, da nord-est a sud-est, una via di 8000 miglia almeno (oltre $^1/_3$ di un circolo massimo del globo), avendone subìta la scossa la Svezia, la Turingia, le maremme del Baltico, le Alpi, del pari che le Antille e il Canadà.

In base a queste osservazioni distinguo i terremoti in tre categorie:

1.ª Terremoti vulcanici.

2.ª Terremoti perimetrici.

3.ª Terremoti tellurici.

805. Cominciando dai terremoti vulcanici abbiamo già detto tutto col dire che essi precedono, prima da lontano poi da vicino, le eruzioni, di cui si direbbero prodromo infallibile. Le eruzioni stesse sono poi invariabilmente accompagnate dai terremoti. Tanto si rileva dalle numerose descrizioni che delle eruzioni vulcaniche ci lasciarono gli autori. Se si vuole un esempio, citerò quello della eruzione etnea del 1865, così ben descritta dal Silvestri. Il 30 gennajo due scosse si fecero sentire durante il giorno sul fianco nord-est dell' Etna. Verso sera il suolo cominciò nuovamente a tremare, rimanendo in preda a una agitazione quasi continua, accompagnata da cupi rombi sotterranei. Alle 10 $^1/_2$ una scossa più forte delle altre si fece sentire, e fu allora che una luce vivissima alla base del monte Fromento annunciò l' eruzione di cui riferimmo già i particolari (§ 611). Le oscillazioni del suolo su quel lato dell' Etna continuarono fino alle 4 del mattino; ma a poco a poco andarono scemando, finchè si restrinsero

a quell'area, relativamente molto angusta, che era divenuta teatro della eruzione. Su quest'area, come riporta il Silvestri, il suolo oscillava continuamente durante l'eruzione, in mezzo a continui spaventevoli muggiti, come fossero tuoni di un temporale sotterraneo.

806. La causa dei terremoti vulcanici non fa bisogno che noi l'andiamo a cercare: essa si presenta da sè. Lo svolgimento del vapore in una caldaja, più ancora lo scoppio della medesima, o l'uscita del vapore a forte tensione da una valvola, non si operano senza che un movimento si comunichi alla caldaja stessa, e a tutto l'apparato. Le esperienze più volgari ce lo attestano. Quando si mette dell'acqua a bollire in una pentola prima ancora che stacchi il bollore, anzi appena si senta l'acqua grillettare, la pentola trema. Le bollicine di vapore, che appajono, come formicolando, sul fondo e sui lati della pentola non possono formarsi, se non a patto di spostare il liquido sovrincumbente: da ciò un movimento, che si trasmette dal liquido alla pentola; e dalla ripetizione incessante di quel movimento, a ogni formarsi di bollicina, il tremito. Il fenomeno si rende molto sensibile, quando l'acqua si ponga a bollire in un vaso posto in bilico, in guisa che facilmente oscilli, p. es., nella caffettiera ordinaria di latta, che si mette a bollire sul fornello ad alcool, sostenuta da tre ganci mobili di ferro. Quando poi il vapore si sfoghi all'esterno, avremo i fenomeni del cannone o del fucile che si scaricano, in somma i fenomeni dell'eolipila, cioè un moto più o meno violento (proporzionale alla forza del vapore), che si trasmette all'apparato da cui il vapore si svolge. La massima tensione bisogna ritenere che il vapore l'acquisti nel momento che riesce a forzare l'uscita e a produrre l'eruzione. Colla eruzione diminuisce a poco a poco, e cessa l'interna tensione di esso. Ecco quindi spiegato come le maggiori scosse di terremoto precedono immediatamente l'eruzione, o piuttosto ne annunciano lo scoppio, diminuendo poi d'estensione e d'intensità, mano mano che diminuisce la forza espansiva del vapore interno.

807. Nella categoria dei terremoti vulcanici metteremo anche quelli che annunciano e accompagnano le eruzioni dei vulcani di fango. Anch'essi sono prodotti immediatamente dall'espansione dei fluidi elastici (gas idrogeno e vapor acqueo) che son causa della eruzione. In fine ogni qualvolta un fluido elastico si apra un'uscita di sotterra, avrà luogo un terremoto, la cui intensità o estensione saranno proporzionate alla forza dell'agente. Mi ricordo di scosse abbastanza sensibili, provate sul maggiore conetto della salsa di Nirano, ogni volta che lo scoppio del gas, e il conseguente rigurgito di fango, accusavano una maggiore intensità. Conchiudendo, non vi ha fenomeno di più facile spiegazione di un *terremoto vulcanico*. Esso

non è che l' immediata conseguenza dello svolgimento interno, quindi dello scoppio dei fluidi elastici, principalmente del vapore acqueo, primario fattore meccanico nei fenomeni eruttivi.

808. I terremoti appartenenti alla seconda categoria, che io chiamo *terremoti perimetrici*, sono quasi i soli di cui siasi occupata la scienza. Ripetendosi sovente nelle stesse località, e insistendovi talora degli anni interi, diedero tempo agli studiosi della natura di occuparsene. Si lamenta però ancora la scarsità dei documenti. Consultando difatti i trattati, ove si parla di terremoti, si trova che quasi tutto si riduce a ciò che lasciarono scritto gli autori sui terremoti che desolarono le Calabrie dal principio del 1783 fino alla fine del 1786, e su quelli dell' America centrale, dei quali si occupa specialmente il *Cosmos* di Humboldt.

809. Le scosse nelle Ande sono frequenti e durano spesso, benchè intermittenti, parecchi giorni. Il Chili fu scosso per oltre nove mesi nel 1822, e nel 1835; dopo una gran scossa, continuarono altre minori per lungo tempo, e 300 se ne contarono dal 20 febbrajo al 4 marzo. Lo stesso si osserva in Italia, e nominatamente in Calabria, regione che ebbe sempre a soffrire più delle altre dai terremoti. Il terribile terremoto, che desolò la provincia di Cosenza il 4 ottobre 1870, consistè principalmente, a quanto pare, in tre forti scosse, succedutesi a brevissimo intervallo fra loro, e della durata complessiva di 12 a 30 secondi. A queste prime tre scosse ne tenner dietro moltissime di minore intensità, e nella notte se ne contarono fino a 42 in 11 ore. Del resto il 4 ottobre non segnava che il *maximum* di un terremoto di lunga durata, cioè avente uno dei caratteri più distintivi dei terremoti perimetrici. Infatti il terremoto del 4 ottobre era stato preceduto da scosse, che si succedettero a larghi intervalli dal marzo alla fin d'ottobre (da 1 a 3 scosse per ciascun mese). Dal 4 ottobre alla fine di dicembre le scosse e i rombi sotterranei furono quasi giornalieri, ripetendosi d' ordinario più volte al giorno. [1]

Le scosse non durano dunque che pochi secondi, succedendosi ordinariamente ad intervalli più o meno lunghi, per mesi ed anni. Anche quando si parla di scosse di lunga durata, pare debba intendersi, non già di scosse a moto continuo, ma di scosse che si ripetono a così brevi intervalli da simulare un moto continuo. Così interpreto anche quando leggo di una scossa ondulatoria della durata di un' ora sofferta ad Ardebil in Persia nel 1848.

810. Le scosse si distinguono come segue, secondo la diversità del moto:

[1] Queste notizie sono tolte dal pregevole scritto di Domenico Conti, *Memoria e statistica sui terremoti della provincia di Cosenza nell'anno* 1870. Cosenza, 1871.

1.° *Moto verticale*, dal basso all'alto. Talora è così violento da produrre l'effetto di una esplosione. Una scossa a Riobamba nel 1797 produsse gli effetti di una mina. Molti cadaveri furono slanciati al di là del torrentello Lican fin sulla cima della Culca, collina alta più centinaja di piedi.

2.° *Moto sussultorio*, cioè oscillante dall'alto al basso. Nel suddetto terremoto i crepacci si aprivano o si chiudevano; gli uomini si salvavano allargando le braccia; truppe di muli coi cavalcatori furono inghiottite; le case sprofondate senza sconcio e salvi gli abitatori. Una gallina si osservò stretta come da un trabochello tra le fessure del pavimento d'una casa.

3.° *Moto orizzontale*. È il più ordinario. Il moto si propaga di luogo in luogo, talora a distanze enormi.

4.° *Moto ondulatorio*. Risultante del moto verticale e orizzontale. Humboldt descrive gli effetti del moto ondulatorio che continua talora nell'America meridionale al punto da produrre il mal di mare.

5.° *Moto circolare*. La scossa si propaga da un centro, e si può paragonare alle onde concentriche che si sollevano collo slanciare, p. es., un sasso nell'acqua, diminuendo di intensità mano mano che si allontanano dal centro.

6.° *Moto vorticoso*. La scossa si aggira come un vortice. Un bellissimo esempio è offerto dal singolare spostamento degli obelischi di san Bruno nella città di Stefano del Bosco in Calabria, nel famoso terremoto del 1793. I diversi prismi sovrapposti, di cui constano quegli obelischi, si staccarono l'uno dall'altro, girando sopra sè stessi, rimanendo però ancora gli uni sopra gli altri, e tutti sulle rispettive basi.

7.° *Moto mistilineo o a linee interferenti*. Talvolta le onde di terremoto, diversamente dirette, si tagliano, si incrociano, si sovrappongono e ne risultano moti bizzarri che si rivelano coi più bizzarri spostamenti. Suppongansi due centri di commozione, che danno luogo ciascuno ad una scossa circolare; le onde, per effetto della trasmissione del moto, dovranno incontrarsi, incrociarsi o sovrapporsi.

Non occorre il dire che lo stesso terremoto presenta spesso contemporaneamente e successivamente i diversi moti.

811. La forma delle scosse dipende naturalmente dal modo di applicazione della forza motrice, qualunque essa sia. Ma come scopriremo la natura di questa forza? Interrogando, come ho detto, i fenomeni concomitanti. In primo ordine ci si presentano i *suoni* che accompagnano i terremoti. Un movimento che si propaga per centinaja e migliaja di miglia, scuotendo, spostando almeno momentaneamente una massa di roccie di natura diversa, non può aver luogo senza attriti, senza urti di solido contro

solido, quindi senza un rumore. Mi ricordo di due scosse ben distinte risentite in Lombardia in questi ultimi anni. La sensazione che mi produssero non saprei meglio paragonarla che al rumore prodotto da un pesante carro, che si avvicina, finchè urta contro la casa da voi abitata, e la scuota, e passa oltre sempre rumoreggiando.[1] Le scosse da me risentite furono affatto momentanee, e il rumore non durò dal principio alla fine che pochi secondi. In questo suono, prodotto, io credo, da ogni scossa di terremoto, non vedo che una naturale conseguenza del mutuo urtarsi dello parti componenti la massa del suolo. Ma nei distretti ove si verificano i terremoti che io dissi perimetrici, p. es. nell' America centrale, si uotano altri suoni molto caratteristici. Parlando dei terremoti, dicono difatti i diversi autori, che il terremoto talora brontola come un tuono sordo; talora si rassomiglia allo scorrere di carri pesauti; talora dà un suono come di strascico di catene; talora s'odono scoppi o come uno squarciarsi di rupi. Avviene che si senta il suono anche là dove non si prova la scossa. Vi sono dei suoni che succedono ai terremoti invece di accompagnarli. Nel famoso terremoto di Riobamba una formidabile detonazione si udì diciotto o venti minuti dopo la catastrofe. Lo stesso ebbe luogo un quarto d' ora dopo il terremoto che distrussa Lima nel 1746, e molte detonazioni si succedevano di 30 in 30 secondi, molto tempo dopo la gran scossa che afflisse la nuova Granata nel 1827. Dagli esempi citati da Humboldt si vede poi a quali distanze possano udirsi certi suoni sotterranei, essendosi verificato che certe detonazioni si udirono a distanza pari a quella che dovrebbe percorrere una detonazione del Vesuvio per udirsi nel nord della Francia. Si ricordi come i solidi sono ottimi conduttori del suono.

812. Parmi dal complesso dei fatti ci sia luogo a distinguere un suono che accompagna il terremoto, e che corrisponde all' urto, al confricamento di solidi contro solidi, da altri suoni, che si legano piuttosto alle cause del terremoto e precisamente allo sviluppo o sprigionamenti di gas sotterranei.

La distinzione or ora stabilita sarebbe appoggiata anche al fatto, che certi suoni, simili a quelli che accompagnano o susseguono i terremoti, si udirono talvolta, senza che per questo si verificasse alcuna scossa. Il fatto più curioso di questo genere è narrato dall' Humboldt, come verificatosi a *Guanaxuato* città del Messico. Sordi rumori, scoppi secchi e brevi,

[1] Il dottor Domenico Conti, nella memoria citata, così si esprime per riguardo al suono che precedette immediatamente le scosse del 4 ottobre 1870 a Cosenza. « Erano le ore 5, 55. Fu imponente quel rombo lunghissimo, vibrato, che primo si sentì, che chiuse le imposte ed altre a' aperse, che si annunziò come carro pesante che passa sui tetti. Fu questo che diede tempo di salvare la vita a moltissimi, pria che quel grido unanime d'angoscia uscisse: il terremoto! » Nota poi che costante è questo rombo antecedente alla scossa.

e rantoli di tuono prolungato, si udirono sotterra per oltre un mese, quasi un temporale continuo ivi imperversasse.

813. In quanto all'origine di quei suoni domanderò quale è il suono caratteristico prodotto da un gas, dal vapore, da un fluido elastico, che improvvisamente esplode o si distende? lo scoppio. Si osservi quante volte si parla di scoppi e detonazioni che accompagnano i terremoti.'

814. L'idea che da sviluppo di aeriformi abbiano origine i terremoti perimetrici sarebbe confermata da un altro ordine di fenomeni: i fenomeni atmosferici. Prego il lettore a badar bene a quanto sto per dire in proposito, poichè io attribuisco un'importanza capitale ai rapporti, quando si verifichino, tra l'atmosfera e i terremoti, in vista appunto di scoprire la causa di questi fremiti della terra. Ammetto intanto per principio che, se si riuscisse a provare esservi (non dirò sempre, ma quanto basta per istabilire un fatto) una corrispondenza tra le scosse dei terremoti e gli abbassamenti del barometro, sarebbe del pari dimostrato che la causa dei terremoti è un fluido elastico. La cosa è chiarissima. Un apparato qualunque dove agisca un fluido elastico in corrispondenza coll'atmosfera, è un barometro, ove l'espansione o lo svolgimento del fluido si può pigliare come misura della pressione atmosferica, colla quale tende a porsi in equilibrio. Variando la pressione atmosferica variano, nei rapporti dovuti, i fenomeni presentati dal fluido elastico. In tutti i fenomeni endogeni finora considerati, siccome agisce ordinariamente un fluido elastico, o vapore o gas che sia, la corrispondenza colle variazioni atmosferiche, nel senso della teoria barometrica, si tradisce nel modo più evidente. I vulcani, le sorgenti gasose, le salse, ecc., sono veri barometri. Non si vedrebbe come mai le variazioni atmosferiche possano avere dell'influenza sopra un fenomeno, quale è il terremoto, le cui cause risiedono nelle profondità terrestri, se non è per le leggi barometriche, e precisamente per l'azione che l'atmosfera può esercitare sulla tensione e sullo svolgimento di un fluido elastico rinchiuso nelle cavità interne. Si verificano essi dei rapporti fra le condizioni atmosferiche e i terremoti? pare di sì, e precisamente nel senso che risponde alla nostra ipotesi, considerata in rapporto colla teoria barometrica. Quando sarà infatti che i gas o i vapori interni, supposti in corrispondenza [1] coll'atmosfera, si metteranno in moto

[1] Per istabilire una corrispondenza nel senso voluto dalla teoria barometrica, non è necessario che esista una communicazione immediata tra l'atmosfera e le sotterranee cavità ove agirebbero i fluidi elastici. Quando un gas sia chiuso in un vaso, le cui pareti siano abbastanza elastiche, il gas stesso potrà comprimersi e dilatarsi secondo che cresce o si diminuisce la pressione barometrica. Dal momento che la crosta terrestre è capace di oscillazioni, come lo provano i terremoti, nessuno potrà negarmi che essa adempia alle condizioni volute dall'ipotesi.

a preferenza? Quando la pressione atmosferica diminuisce, quando il barometro discende. I fatti che passiamo a produrre sono scarsi, ma pajonmi sufficienti.

815. Per quanto la maggior parte dei fenomeni atmosferici che accompagnano l'eruzione, come tuoni, lampi, pioggie, sieno piuttosto conseguenti che concomitanti, siano infine piuttosto fenomeni vulcanici che meteorologici, pure l' atmosfera non si tiene affatto passiva nei rapporti colle eruzioni. Gli abitanti di Stromboli, dice Scrope, considerano il loro vulcano assolutamente come un barometro. A tempo cattivo il vulcano si fa minaccioso, mentre si tranquillizza col sereno. Nella stagione tempestosa d' inverno, il vulcano esce da quello stato d' uniforme attività che lo caratterizza; violenti eruzioni, che sovente squarciarono il cono fino alla base, violenti scosse alternano con periodi di breve riposo. Le eruzioni del picco di Ternate (Moluche) diconsi più violenti negli equinozî. D' altri vulcani permanenti notossi coincidere l' incremento della loro attività cogli abbassamenti della colonna mercuriale. Scrope porge di tali fenomeni una spiegazione evidentissima. L' eruzione, non altro infine che una ebollizione, si equilibra necessariamente tra la forza d' espansione dei vapori nell' interno del vulcano, e la repressione che consiste nel peso e nella coesione delle roccie superiori, delle lave stesse, infine dell' atmosfera sovrincombente. Supposta uguale la produzione del calore, che mantiene il vulcano in attività permanente, quindi uguale l' espansione dei vapori, una diminuzione della repressione, quindi una diminuzione del peso atmosferico, avrà per effetto un eccesso d' espansione, quindi un incremento di eruzione. Per la stessa ragione l' atmosfera, se non è atta a produrre per sè un parossismo nell' interno del globo, lo è però a determinarne il momento, quando la causa di quel parossismo dipenda da una forza che tende necessariamente ad equilibrarsi colla pressione atmosferica.

816. Come i vulcani, si risentono delle variazioni atmosferiche le salse, dove agisce il gas infiammabile; le sorgenti, dalle quali si sviluppi un gas qualunque; e si risentiranno certamente le stufe, i geyser, ecc. Quando visitai le salse di Nirano, venni appunto assicurato che, al sopravvenire de' temporali, quei vulcanetti si animano; le bolle si succedono più tumultuose, più iraconde, e lanciano il fango a qualche piede di altezza. Visitando ultimamente quel lago di acqua effervescente che è la così detta Solfatara di Tivoli, venni pure fatto certo che, a tempo nuvolo, hanno luogo talora tali ribollimenti di gas acido carbonico, da verificarsi facilmente dei casi di asfissia. Mi si narrava, p. es., di un bufalo rimasto vittima di uno di quei parossismi. Dei soffioni boraciferi della Toscana

abbiamo già detto come sorgano tranquilli a tempo sereno, mentre il cielo coperto li fa inquieti e iracondi.

817. Ora tornando ai terremoti, se si verifica una corrispondenza tra essi e le condizioni atmosferiche, ciò non può avvenire che come avviene pei vulcani, per le salse, per le sorgenti gasose, pei soffioni.

Quando avviene un terremoto non si manca mai dai meteorologisti di notare il grado di temperatura, lo stato del cielo, la direzione del vento, ecc. Ora ne risulta che vi ebbero terremoti a cielo sereno come a cielo piovoso, d'estate come d'inverno; passarono senza essere indicati da nessuno squilibrio o elettrico, o magnetico, o termometrico. Di ciò nessuna meraviglia; poichè nel caso la diminuzione della pressione atmosferica non è che quell'ultimo punto che risolve, quando faccia bisogno, una molla, che è già lì lì per iscattare. Tuttavia nelle regioni intertropicali d'America, ove si contano fin dieci mesi di siccità continua, gli indigeni riguardano i terremoti come lieti forieri di pioggia. Nel Perù e a Quito a violenti scosse di terremoto tenne dietro un rapido cambiamento di temperatura e l'arrivo precoce della stagione delle pioggie, il che penso non riguardi che le alte regioni delle Cordigliere che portano l'irrigazione al Perù, dove vedemmo le pioggie affatto sconosciute.[1] Il terremoto di Bogota nel 1827 fu accompagnato da pioggie torrenziali che gonfiarono il fiume della Maddalena. Secondo le osservazioni di Mallet e Perrey, citati da Scrope, i terremoti avvengono con maggior frequenza d' inverno che d'estate, verificandosi il *maximum* all'equinozio d'autunno, nell'epoca cioè in cui le depressioni barometriche sono più frequenti.[2]

Humboldt cita tra le credenze popolari quella che attribuisce un' influenza sui terremoti agli equinozî di primavera e d'autunno, ai mussoni, infine alle stagioni.[3] Ci dice di più come vige nell'Europa meridionale l' opinione che la calma dell' atmosfera, che un calor soffocante, un orizzonte carico di vapori (i fenomeni che sono ordinariamente accompagnati da sensibile depressione del barometro) siano i forieri de' terremoti.[4]

---

1 HUMBOLDT, *Cosmos*, I.

2 SCROPE, *Les volcans*, pag. 302.

3 *Cosmos*, I, nota 84.

4 *Cosmos*, I. — È singolare il modo con cui Humboldt esprime la sua opinione circa i rapporti che possono esistere tra i terremoti e le condizioni atmosferiche. Dopo aver detto che i fenomeni atmosferici sopra indicati non hanno un rapporto necessario col terremoti, e che *si avrebbe torto di attribuire ad essi, in generale, un significato qualunque* (nota 84), aggiunge nella stessa pagina: che non bisogna rigettare certe credenze popolari, fondandosi sulla nostra ignoranza dei rapporti che possono esistere tra i fenomeni meteorologici e i fenomeni sotterranei. Ammesso che fluidi elastici agiscano nei terremoti, i rapporti tra i fenomeni meteorologici e i fenomeni sotterranei rimangono stabiliti in un modo del pari evidente che necessario.

818. Io ritengo infine, che la causa dei terremoti perimetrici è quella stessa da cui dipendono i terremoti vulcanici. Salvo la diversità delle circostanze i terremoti, appartenenti alle due categorie, si identificano. Abbiamo veduto come i vapori, concepiti in seno a un liquido, prima ancora che si svolgano, producono un movimento, che può trasmettersi a distanze indefinite. Il vapore acqueo, mentre prepara l'eruzione di un vulcano, agisce sotterra all'ingiro del punto, ove l'eruzione deve aver luogo. Da ciò i terremoti, infallibili precursori delle eruzioni. Perchè questi terremoti si facciano sentire piuttosto immediatamente entro i limiti del cono vulcanico, che a considerevoli distanze nelle regioni perimetriche, ci vorranno delle circostanze particolari, le quali determinino il fenomeno piuttosto vicino che lontano, in uno piuttosto che in altro punto; ma tali circostanze, se cambiano il modo di manifestarsi, non mutano punto nè la causa nè la natura del fenomeno. Vediamo se ci riesce di dar ragione di quelle circostanze, le quali determinano il modo, o piuttosto il luogo, della manifestazione.

819. Un terremoto, io dico, non sarebbe che l'effetto di una esplosione, intesa nel più largo senso della parola, per quel qualunque sviluppo di un vapore rinchiuso, sufficiente a mettere in moto l'ambiente. Potrebbe pertanto paragonarsi ad una mina, che, esaurendosi in alcuni casi con una semplice scossa del terreno circostante, può, in altri casi, produrre una vera esplosione. Diffatti in un opuscolo poco conosciuto [1], Körber, capitano del genio, tentò di applicare la teorica delle mine alla spiegazione dei terremoti. Quando una mina piglia fuoco, sentesi dapprima all'ingiro, fino ad una certa distanza, una scossa del suolo; quindi, entro un circolo minore, concentrico al primo ove si dilatò la scossa, la terra si gonfia, formando un debole rilievo, che talvolta ricade, appianandosi, quantunque si oda la detonazione. Più spesso invece la superficie sollevata si fende, e dalle fessure escono fumo e fiamme. Se più forte è la mina, la parte smossa salta in aria, e resta una cavità ad imbuto, il cui vertice è il luogo ove fu messa la polvere.

820. Come la polvere, accendendosi, così ogni aeriforme, dilatandosi, agisce sul solido all'ingiro, e comincia a comprimerlo quel tanto che egli sia capace di compressione senza rompersi. Si formerà un vacuo sferico, e se la forza elastica del fluido è da tale effetto esaurita, il tutto finirà qui, salvo il movimento, che si farà sentire lontano, secondo le leggi della trasmissione del moto. Se invece l'elasticità non è esaurita, ne conseguirà la rottura, l'esplosione. Questa teoria, la quale fu esposta in base alla

---

[1] *Die Erdbeben*. Vienna, 1844.

esperienza, ci presta dei principî molto applicabili, per mio avviso, al caso nostro, mettendoci sulla via di stabilire i veri rapporti fra i terremoti vulcanici e i perimetrici. Il primo principio è questo: che lo sviluppo di un fluido elastico produce una scossa, anche indipendentemente dalla esplosione, propagandosi la scossa a distanza maggiore o minore, secondo la forza espansiva del fluido, e la natura del corpo (nel caso nostro del terreno) per cui il moto si propaga. In base a questo principio abbiamo già spiegato come lo stesso agente della eruzione vulcanica, il vapore acqueo, produca dei terremoti, senza che le eruzioni abbiano luogo nè immediatamente, nè lungo tempo appresso.

Il secondo principio è che, data una quantità di fluido, con un certo grado di tensione, l'esplosione (diciamo l' effetto meccanico in genere) sarà tanto più violenta, quanto più il fluido elastico agisce in vicinanza della superficie del suolo. In due parole, l'effetto meccanico, a condizioni pari del resto, è in ragione inversa della profondità.

Un terzo principio è quello che l' esplosione (o l' effetto meccanico in genere) sarà tanto più estesa alla superficie, quanto più profondo è il punto ove si determina l'azione del fluido elastico. Cioè l'estensione del fenomeno è in ragione diretta della profondità. È un assioma che una forza qualunque perde tanto d'intensità, quanto guadagna d'estensione.

821. Per venire all'applicazione di questi principî, richiamiamo che l'effetto di una mina (in un terreno dove può agire con certa uniformità) è di produrre un imbuto, cioe di far saltare un cono, avente per vertice il fornello e il suolo per base. Si osserva che il diametro della base di esso cono, misura due volte l'asse, ossia l'altezza del cono stesso. Cento libbre di polvere, poste p. es. a 10 piedi di profondità, faranno saltare un cono che ha 20 piedi di diametro alla base. L'esplosione in questo caso produrrà un vuoto circolare del diametro di 20 piedi alla superficie del suolo. Se volessi produrne uno di 40 piedi, bisognerebbe che sprofondassi la mina a 20 piedi sotto la superficie del suolo. Ben inteso che per ottenere sul cono di 40 piedi di base l'effetto ottenuto su quello di 20 piedi, dovrei accrescere la forza della mina in proporzione della massa maggiore che voglio far saltare. Questa essendo 8 volte la prima, in luogo di 100 libbre di polvere, ne dovrei mettere 800. Se io ne mettessi soltanto 100, la polvere piglierebbe fuoco ugualmente, ma tutto finirebbe con un movimento del suolo, o tutt'al più con una screpolatura dell'area che io voleva far saltare. Perchè questo? Appunto perchè la forza ha tanto perduto di intensità quanto ha guadagnato di estensione.

822. Suppongo ora una massa di vapori sotterranei svolgentisi a grande tensione. Se la loro azione si determina immediatamente presso la super-

ficie del suolo, l'effetto meccanico riescirà più limitato, ma più intenso: potrà quindi tradursi in uno scoppio, produrre una eruzione. Supponiamo che si determini a una profondità maggiore, mantenendo uguale potenza. L'effetto sarà in proporzione meno intenso, ma più vasto, e si risolverà quindi facilmente in una semplice scossa del suolo, in un terremoto. Si badi bene. Un terremoto avrà sempre luogo: ma nel primo caso sarà un terremoto vulcanico, limitato al breve giro di un vulcano, precursore di una eruzione, che avrà luogo immediatamente, o in seguito a nuovi conati. Nel secondo caso avremo un semplice terremoto, sentito sopra più vasta estensione, propagato lontano dal centro eruttivo, in apparenza affatto indipendente da esso, in fine un terremoto perimetrico.

823. Non si creda poi che il determinarsi dell'azione del vapore piuttosto presso la superficie nei distretti vulcanici, che nelle profondità nelle regioni perimetriche, sia quello che si direbbe un fenomeno accidentale. No: il tutto è regolato da leggi imperscrittibili. Un distretto vulcanico dice un gran sistema di crepature maggiori e minori, quindi di cavità interne, di camini, di sfiatatoi, per cui i vapori, svolgendosi dallo imo profondità, possono guadagnare immediatamente le regioni più superficiali, e prima scuoterle, urtandole, poi romperle, erompendo. Nelle regioni circostanti ai vulcani invece il sistema delle crepature, quindi delle interne cavità, è molto ridotto. La crosta del globo, d'enorme spessore, è più unita. I vapori non possono agire immediatamente che a profondità immani. Urtando contro la volta, che oppone una resistenza proporzionale al suo enorme spessore, non potranno che scuoterla, e l'estensione della scossa sarà poi proporzionale alla profondità della forza motrice.

824. Questa teorica, la quale riconoscerebbe nei terremoti vulcanici e nei perimetrici, anzi nei terremoti e nei vulcani, altrettanti fenomeni dipendenti dalla stessa causa, trova un valido appoggio nei rapporti che si manifestano fra i terremoti e i vulcani delle regioni confinanti. Quali sono questi rapporti? Apparentemente negativi, come quelli che paiono escludere la mutua dipendenza fra i vulcani e i terremoti. In realtà però sono positivi, e quali sono richiesti dalla più assoluta dipendenza fra i fenomeni citati.

825. Nell'America, p. es., i terremoti seguono, è vero, la direzione delle catene vulcaniche; ma non sembra che i vulcani se ne risentano. Durante il terribile terremoto di Riobamba, nessuna eruzione vulcanica verificossi nelle circostanze. Anzi Humboldt osserva che i terremoti più classici avvengono senza che alcuna eruzione si manifesti. Cita in prova i terribili terremoti di Lisbona, di Lima, di Caracas, della Calabria, della Siria, dell'Asia Minore. Durante il famoso terremoto, che desolò per un intero triennio,

dal 1783 al 1786, la Calabria, vi fu piena pace nel contiguo distretto vulcanico di Napoli. — Forbes, nella sua *Geologia della Bolivia*, dice che le frequenti eruzioni nel distretto di Titicaca non cagionano nessuna perturbazione nella catena siluriana delle Ande che lo avvicinano; mentre esso distretto vulcanico va esente dai terremoti che sì di frequente devastano le vicine contrade. Così Darwin, parlando dei grandi terremoti che desolarono l'America del sud nel 1838, rimarca come, mentre il paese era sopra immensa estensione scompaginato e sollevato, le regioni che circoscrivevano alcuni dei più vasti orifizî vulcanici delle Cordigliere, rimasero perfettamente tranquille.

826. Copiose liste comparative dei terremoti e delle eruzioni vulcaniche nell'America centrale, offerte da Dolfus et De Mont-Serret [1], assicurano in massima l'indipendenza dei terremoti regionali dalle eruzioni vulcaniche, o direm meglio dalla loro contemporaneità. Valga come saggio la seguente

Tavola comparativa dei terremoti e delle eruzioni vulcaniche più rimarchevoli nel corso degli ultimi tre secoli nella Repubblica dell'Equatore.

TERREMOTI	ERUZIONI VULCANICHE	TERREMOTI	ERUZIONI VULCANICHE
1530-1539-1560		1814-1815-1816	
	12 Marzo 1575. Spaventevole eruzione di Tolima	1819-1826-1827	
	1578. Vulc. Pichincha	Terremoto quasi continuo a Popayan dal 1828 al 1830	
	1660. Id.		
1687-1698		Terremoti frequenti dal 1830 al 1835	
	1732. Vulc. Purace		
1740-1766		1838	
	1768. Vulc. Cotopaxi	1839	
	1774. Id.	Terremoto quasi quotidiano a Popayan nel 1840	
1775-1785			
1794-1795			
	1796. Vulc. ?	1841-1844	
1797		1845	
1802-1805-1812	Il Sangay è in continua eruzione nella prima metà del secolo XIX.	Calma perfetta	1847. Vulc. Gnila 1849. Vulc. Purace
		1850-1851.	

[1] *Mission scientifique au Mexique.*

827. Chi ben rifletta tuttavia all'indole dei diversi fenomeni, troverà che quei fatti stessi, i quali sembrano a prima giunta dichiarare l'indipendenza reciproca tra i vulcani e i terremoti, ne attestano invece realmente la mutua dipendenza. Che cosa è un terremoto? la manifestazione di un agente interno che tende a sprigionarsi. Abbiamo anzi veduto come, almeno nella pluralità dei casi, lo studio dei terremoti rilevi evidentemente l'azione dei fluidi elastici che imprimono delle oscillazioni alla parte solida del globo. Che cosa è un vulcano, o meglio, in cosa consiste una eruzione vulcanica? Nella rottura della crosta solida del globo, sotto lo sforzo di una massa fluida dilatata, nella emissione di un ingente volume di vapori elastici e di enormi quantità di sostanze pastose. Ora non par egli che il vulcano sveli ciò che produceva il terremoto, lasci cioè sfuggire l'intestino démone, che attizzava il fuoco delle interne discordie.

828. Questo intestino démone, possiam dirlo con sicurezza, è il vapore acqueo, imprigionato, sotto enormi tensioni, nelle viscere del globo. Se io prendo una bottiglia di acqua di Seltz, e ne smuovo alquanto il tappo, non tanto però che il gas possa farlo saltare, osservo un nugolo di bollicine gasose, che si levano velocissime dall'interno alla superficie del liquido, e si perdono nell'angusto vacuo che sta tra la superficie del liquido e il turacciolo. Quel lieve spostamento del tappo ha aumentato un tantino quello spazio, apparentemente vuoto, ma occupato in realtà dal gas libero, il quale aveva raggiunto una tensione sufficiente per far equilibrio alla forza espansiva del gas imprigionato nel liquido. Quel lieve aumento di capacità dell'ambiente diminuì essa tensione; l'equilibrio fra la pressione esterna e l'espansione interna fu rotto: ne conseguì uno svolgimento di gas dal seno del liquido, e quel nuovo gas portossi a riempire il vacuo, rinnovandovi il primitivo grado di tensione e ristabilendo l'equilibrio. È una nuova esperienza, che dimostra come avvenga sviluppo di fluidi elastici in un ambiente chiuso, senza che ne consegua la rottura delle pareti dell'ambiente, ossia l'esplosione; potere quindi aver luogo un terremoto, senza che ne consegua l'eruzione vulcanica. Ma il gas che zampilla dall'acqua è quello stesso, che, indebolita maggiormente la resistenza del tappo, lo farebbe saltare in aria, conseguendone tosto un'eruzione acquea dal collo della bottiglia. Se noi avessimo tatto e udito bastantemente squisiti, non ci sfuggirebbero certamente nè il suono delle bollicine che si sprigionano dal liquido ancor chiuso nella bottiglia, nè il tremito che deve trasmettersi alle pareti di essa.

829. In base alla citata esperienza, quando è dunque che può avere luogo un terremoto, senza che ne consegua l'eruzione? Quando possa darsi uno svolgimento interno di vapore, senza che esso acquisti tale ten-

sione, da produrre una rottura, che lo mette in communicazione coll'atmosfera. E questo svolgimento quando potrà verificarsi? Quando si avvera un vuoto interno, comunque esso sia prodotto.[1] Ma si rifletta che se, prima della citata esperienza, il gas il quale riempiva il vacuo fra la superficie del liquido e il tappo, acquistasse una sufficiente tensione, farebbe saltare il tappo immediatamente, e immediatamente ne conseguirebbe l'eruzione, e non avrebbero luogo i fenomeni descritti. Non è egli dunque chiaro che i terremoti e le eruzioni si escludono a vicenda nei rapporti di contemporaneità, mentre non può essere più necessaria la loro mutua dipendenza nei rapporti d'origine?[2] In questo caso il terremoto e l'eruzione naturalmente si escludono a vicenda, ma in guisa tale, che la loro mutua dipendenza diventa più necessaria. I vulcani furono già considerati da Humboldt, da Scrope ed altri, come *valvole di sicurezza;* e lo sono infatti, poichè per essi trova sfogo quell'indomito elemento che freme nelle viscere della terra, e tutta la porrebbe a soqquadro, quando non trovasse per qualche parte un'uscita. Mallet considera un terremoto in una regione non vulcanica come un tentativo fallito di formare un vulcano; ed ha ragione.

830. E questo tentativo può talora non andare fallito. Può darsi che i vapori, sviluppati anche lontano dagli orifizi vulcanici, li trovino poi, espan-

---

[1] Qui non si parla del vuoto fisico, ma di quello semplicemente che si produce col diminuirsi della forza espansiva di un fluido elastico. Il quale da una forza qualunque, cui non basta a equilibrare, è tosto ridotto a occupare uno spazio minore.

[2] Nell'atto che la bottiglia si stura, o l'acqua ne ribolle, per l'immediato svolgimento del gas, quel movimento trasmesso alle pareti del vaso, paragonato al terremoto, avrebbe luogo certamente, verificandovisi le condizioni dell'eolipila. Quel movimento rappresenterebbe il terremoto vulcanico che accompagna l'eruzione. Quando si voglia distinguere il terremoto perimetrico, che ha luogo lontano dal sito delle eruzioni, o quando i vulcani tacciono, s'abbia di mira di non prender troppo alla lettera il paragone fra una bottiglia d'acqua di Seltz e l'interno del globo. In questo caso invece, per spiegarci, vorremmo supporre un lago, coperto da una crosta di ghiaccio, rotta o facile a rompersi soltanto in un punto. Supponiamo che dal fondo del lago si sviluppino dei gas. Questi potranno svolgersi a molte miglia di distanza da quell'apertura. Le bolle gasose si leverebbero gorgogliando verticalmente in seno all'acqua, finchè urterebbero contro la crosta di ghiaccio, la quale rimarrebbe scossa con violenza relativa in quel punto, mentre in quello dove esiste l'apertura non si produrrebbe alcun fenomeno percettibile. Ecco, nel paragone, un terremoto perimetrico. Il gas, che si venisse mano mano radunando fra la superficie dell'acqua, e la crosta di ghiaccio, reagirebbe, per compressione, sull'acqua, e potrebbe, radunato in copia sufficiente, costringerla a uscire dall'apertura, o a rompere la crosta dove è più debole, aprendo a sè stesso la via in quel punto per quanto distante. I movimenti si determinerebbero allora presso l'apertura, non risentendone punto la crosta da lontano, in quel punto ove il gas sviluppossi primitivamente. Se vale il paragone, che io credo rispondere molto bene ai fatti di cui cerchiamo la spiegazione, i terremoti perimetrici (s'intende la causa che li produce) preparano le eruzioni; quindi i terremoti perimetrici e le eruzioni vulcaniche si escludono a vicenda nei rapporti di contemporaneità.

dendosi tosto lateralmente, rompendo la debole saldatura dei grandi crepacci del globo, e producendo l'eruzione. Nella nostra idea, i casi che si citano per mostrare la mutua dipendenza fra i terremoti e i vulcani, non la provano meglio di quelli che si adducono per provarne l'indipendenza. La dipendenza sta sempre per rapporto alla causa; l'indipendenza per rapporto alla contemporaneità. In ogni caso i terremoti precedono le eruzioni vulcaniche, come l'effetto più immediato precede l'effetto meno immediato; ma il tempo che corre può essere lungo e può esser brevissimo in modo che un effetto tenga dietro all'altro immediatamente. Gli esempî che si citano, per mostrare la vicendevole dipendenza tra i terremoti perimetrici e le eruzioni vulcaniche, non sono appunto che altrettanti casi in cui il secondo effetto tenne dietro immediatamente al primo. Eccovi una serie di esempî. In alcuni si nota un intervallo di tempo fra il terremoto e la eruzione, e sempre nel senso che questa è preceduta da quello. In altri non si indica intervallo di tempo; ma vuol ritenersi che si tratti di un intervallo breve o quasi impercettibile. Li espongo, come sono riferiti principalmente da Humboldt e da Scrope.

831. Nel 1831, le coste di Sciacca furono scosse per molti giorni da terremoti: l'esito fu l'eruzione della famosa isola Giulia, avvenuta a sì breve distanza da Sciacca. Durante il grande terremoto di Bogota, nel 1827, si notò come due vulcani facessero eruzione nelle montagne vicine.

Il terremoto che distrusse la città di Bhudy (Delta dell'Indo, nord-ovest di Bombay) durò quattro giorni, e cessò, dicesi, il quinto, coll'eruzione del vulcano Denodur. Lo spaventoso terremoto di Caracas nel 1812 avvenne il 12 aprile; dal 17 al 20 dello stesso mese eruzione del vulcano San Vincenzo, una delle piccole Antille. È famoso il terremoto che distrusse Lima nel 1746: fu in quella occasione che il vulcano Lucanas rigettò tal copia d'acqua, che tutto il paese ne fu inondato e che tre altri vulcani, nella montagna detta Conversiones de' Caxamarquilla, fecero eruzione, pure con sbocchi copiosi di acqua. Mentre avveniva a Batavia il terremoto del 1669, il vulcano del monte Salak, a sei giornate di distanza, si vedeva in piena eruzione, e se ne udiva il tuonare. Durante il terremoto di Quito nel 1798, una parte del cratere di Carguairazza crollò, e dal fianco squarciato della montagna sgorgava una corrente di acqua e di fango. Cumana fu distrutta da un terremoto l'11 dicembre del 1796. Sulla fine dello stesso anno avvenne la famosa eruzione della Guadalupa.

Durante i terremoti che desolarono le Calabrie dal 1783 al 1786, tacquero, come abbiam detto, il Vesuvio e l'Etna; ma si destarono poi: il Vesuvio con diverse eruzioni, leggieri però, negli anni immediatamente successivi, e l'Etna con una eruzione formidabile nel luglio 1787.

L'eruzione nell'isola Juan Fernandez avvenne in perfetta coincidenza col gran terremoto che scosse il Chilì nel 1835. All'istante che risentissi quel terremoto, i tre grandi vulcani del Chilì, Osorno, Minchimado e Orcovado, precisamente in faccia all'isola Chiloe, eruppero con violenza, e l'eruzione continuò più mesi. Il fatto è attestato da Douglas, che vi era di residenza in quell'epoca, e che ci narra del pari come, nell'istante che aveva luogo il terremoto di Valparaiso nel 1822, due vulcani, nelle vicinanze di Valdivia, scoppiarono con grande fracasso, illuminarono il suolo per alcuni minuti, e tosto rientrarono in riposo.

832. In fine, dal terremoto perimetrico al terremoto vulcanico, da questo all'eruzione vulcanica, non abbiamo che la graduale manifestazione di un fenomeno, unico nella causa, complesso negli effetti. Il vapore, chiuso nelle profondità terrestri, reagisce contro la scorza. I suoi interni squilibrî si tradiscono con movimenti che si propagano dall'interno all'esterno, e tendono a rompere il terrestre involucro. Pure finchè il vapore agisce nelle maggiori profondità, tutto si esaurisce in quei movimenti; i vulcani sono in pace. Ma a furia di sforzi ripetuti il poderoso agente riesce a guadagnare le regioni superiori, per le vie che gli aprono le grandi crepature della crosta del globo. Scosse più violenti e più concentrate annunciano lo scoppio: finalmente i vulcani erompono. Collo sfogarsi del vapore dalle spalancate gole cessa la ragione delle interne commozioni. La guerra nelle regioni vulcaniche è pace per le regioni sismometriche e viceversa.

833. Quanto abbiamo esposto ci permette di precisare meglio e distinguere fra loro le due prime categorie di terremoti. — I caratteri dei terremoti vulcanici sono i segnenti: 1.° avvengono nei distretti vulcanici propriamente detti; 2.° sono limitati, localizzati entro il perimetro dei coni vulcanici o poco più; 3.° sono seguiti più o meno da vicino dalla eruzione, e l'accompagnano, indebolendosi e cessando con essa. — I terremoti perimetrici si distinguono: 1.° perchè avvengono nelle regioni perimetriche, ossia circostanti ai distretti vulcanici; 2.° perchè abbracciano vaste estensioni; 3.° perchè appajono in genere indipendenti dalle eruzioni, o in ogni caso le precedono, cessando quando esse avvengono.

834. Veniamo ai terremoti della terza categoria. Come tipo dei *terremoti tellurici* si può pigliare il celebre terremoto di Lisbona. Abbiam veduto (§ 804) come se ne risentisse la scossa sopra una zona di 8000 miglia almeno. — I terremoti tellurici sarebbero caratterizzati: 1.° dal loro risentirsi nelle regioni che più distano dai vulcani; 2.° dalla loro enorme estensione; 3.° dall'essere passaggeri, e dal non ripetersi che a lunghi intervalli.

835. Il volere legare tali grandiosi fenomeni alle eruzioni vulcaniche, parmi al tutto vano pensiero. Un'eruzione vulcanica, sia pur quella del

Conseguina (§ 654), è pur sempre un fenomeno locale, posto in confronto con quello, che trova quasi angusti i limiti di un emisfero. La scienza è ancora troppo all' oscuro circa la natura di fenomeni così grandiosi, i quali sono per buona sorte così rari, passaggeri e inopinati. Io credo collo Scrope che i terremoti, che io chiamo tellurici, si leghino alle grandi oscillazioni del globo, delle quali, come di fenomeni endogeni costituenti una categoria a sè, mi occuperò più tardi. Io credo, cioè, ugualmente collo Scrope, che il terremoto tellurico sia una conseguenza immediata di quelle rotture che han luogo di tanto in tanto nella crosta del globo, e sono di immensa lunghezza, come lo dimostrano le catene di montagne e i continenti originati dallo spostamento delle grandi masse spezzate. Qui troviamo le debite proporzioni fra la causa e l'effetto; ma eccoci assolutamente usciti dai confini della dinamica terrestre. Quando avremo studiato, come si siano formati i continenti, come siansi rimutati a vicenda più volte le terre e i mari, non troveremo certamente strano che la terra tutta si risenta, a volte a volte, di codesta ginnastica colossale, e dia dei guizzi così formidabili.

836. Che si scoprano poi dei rapporti di contemporaneità o di antecedente a conseguente, fra i terremoti tellurici e le eruzioni vulcaniche, non me ne meraviglierei punto, nè crederei indebolite le ragioni che mi inducono ad ammettere come causa dei terremoti tellurici le rotture della crosta del globo. Il terremoto di Lisbona, p. es., citato fra quelli che non ebbero rapporto con alcuna eruzione, sarebbe avvenuto, secondo lo Scrope, in coincidenza con una formidabile eruzione del vulcano Kottlugai, uno dei vulcani d'Islanda. Il terremoto ebbe luogo il 1° novembre 1755, mentre l'eruzione cominciò col 19 ottobre. Lo Scrope tuttavia attribuisce la differenza delle date ai diversi metodi di computazione. Quando fosse dimostrato esistere, non solo il sincronismo, che può essere accidentale, ma dei veri rapporti dinamici tra i terremoti tellurici e le eruzioni vulcaniche, io direi che una rottura della crosta terrestre produce il terremoto, come effetto immediato e necessario, e apre al tempo stesso la via agli interni vapori; cioè produce l'eruzione come effetto conseguente e accidentale. Spero che questo mio modo di vedere sia poi giustificato pienamente dalla *endografia*.

837. Ripeto del resto ciò che dissi in principio. Molte sono le cause, che possono imprimere un movimento a una porzione più o meno estesa della crosta del globo. Annoveriamo fra queste gli scoscendimenti di cavità sotterranee, o quelli che avvengono alla superficie. Possono prodursi dei terremoti per cause affatto locali, senza alcun rapporto colle cause generali, tra le quali figurano in primo ordine le eruzioni vulcaniche e le oscil-

lazioni della crosta del globo. Nè l'una, nè l'altra causa potrebbe, p. es., dar ragione, immediatamente, del singolare terremoto che scosse le valli di Clusson e di Pelis, presso Pinorolo nel Piemonte, per mesi interi nel 1808, senza che se ne risentissero le regioni circostanti. Ma i terremoti che noi abbiamo distinti come *vulcanici, perimetrici*, *tellurici*, ci pajono abbastanza bene caratterizzati.

838. Lasciando ora da parte ciò che riguarda le cause dei terremoti, e considerandoli in sè stessi, in quanto, cioè, consistono semplicemente in un movimento, che si communica alla parte solida del globo e si trasmette a distanza maggiore o minore, vediamo che cosa hanno certamente di commune quanto agli effetti che essi alla loro volta producono, a quelli principalmente che apportano al globo una modificazione permanente.

Un terremoto, qualunque ne sia l' origine, è un fenomeno di propagazione di moto attraverso la compagine terrestre. Qui dunque si verificheranno le leggi che governano la propagazione del moto attraverso i solidi, con sì diversa misura o con fenomeni sì svariati. Ecco un quesito di meccanica applicata che certo non fu ancor svolto abbastanza bene. Solo, in genere, si deve ritenere che la maggior o minor solidità delle roccie, la continuità o la discontinuità degli strati terrestri, ecc., devono influire sulla velocità e sulla direzione delle scosse. Esperimentalmente si sarebbe verificato che la velocità del terremoto è maggiore di quella delle onde sonore. Generalmente la si calcola da 4 a 5 miriametri per minuto. Il terremoto della Valle del Reno nel 1846 corse, secondo Schimdt astronomo, da 37 a 89 miglia geografiche al minuto.

839. Considerato come fenomeno cosmico, il terremoto non presenta una direzione preferita: solo si osserva che, nei luoghi tormentati di sovente dai terremoti, pare che questi seguano a preferenza una certa direzione. Il signor Auerbach, p. es., informò la Società Italiana di scienze naturali, che a Selengnisk, sulla frontiera tra la Siberia e la China, i frequenti terremoti sono sempre diretti da nord a sud verso il lago Baikal.

840. Gli esperimenti circa la propagazione del moto possono dar spiegazione dei più strani fenomeni presentati dai terremoti. La crosta del globo, benchè sia un sistema rigido, è ben lungi dal potersi considerare come un sistema continuo, elastico, omogeneo. Perciò il centro del terremoto non si può mettere là dove si verifica la maggiore intensità delle scosse, e la maggiore quantità degli effetti corrispondenti. La località scossa maggiormente segna piuttosto la parte meno resistente. Tutti sanno che il moto può propagarsi violentissimo attraverso un sistema di corpi elastici, senza che questi diano sentore di quella violenza che finisce ad esaurirsi forse nella parte meno resistente dello stesso siste-

ma. Ammesso dunque che le diverse parti del suolo, o meglio del sottosuolo, percorso dal terremoto, siano animate dal moto in diverso grado, offrano diversa resistenza, possano spostarsi da una parte piuttosto che dall'altra, molti bizzarri fenomeni presentati dai terremoti saranno facilmente spiegati. Ne accennerò alcuni. Nel Perù certi terremoti si ripetono su certe linee determinate. Da secoli in certi punti intermedi non si verifica alcuna scossa. I Peruviani chiamano quei luoghi *ponti*. Vi sarà forse presso la superficie una grande soluzione di continuità. Talora il terremoto si sente alla superficie, e non a certa profondità: talora avviene il contrario. Si narra che i minatori delle miniere d'argento di Marienberg, in Sassonia, si affrettarono di rimontare i pozzi, spaventati da violenti scosse di terremoto: il suolo al disopra era rimasto tranquillissimo. Nel 1823 invece i minatori di Falun e Persberg rimasero tranquillissimi, mentre il paese sulle loro teste era in preda allo spavento per violenti scosse di terremoto. Le scosse talora corrono parallele alle catene dei monti, talora invece le tagliano, le sorpassano. Si osservò frequentemente che, col ripetere delle scosse, il terremoto guadagna terreno, quasi avesse mano mano rovesciato gli ostacoli. Si vedono talora terreni sovrapporsi a terreni. In un terremoto avvenuto a Riobamba il mobigliare di una casa si trovò tra le rovine di un'altra a più centinaja di metri distante. Si videro talora intieri filari di alberi trasportati da un luogo all'altro, senza che gli alberi fossero sradicati.

841. Al postutto, il terremoto è fenomeno d'indole meccanica, e i principali effetti come i più importanti per la geologia, saranno pure meccanici. Un paese che sia stato in preda a un terremoto, presenta una scena di massimo disordine. Il suolo è squarciato, le case rovesciate, ecc. Queste scene possono meglio immaginarsi che descriversi. Noi, studiando freddamente gli elementi di tale disordine, vediamo di distinguere i diversi effetti, che, tradotti in fatti permanenti, sono le norme incancellabili che possono rivelare al geologo dopo mille secoli il momentaneo furore di quel poderoso modificatore del globo. Uno degli effetti più ordinari dei grandi terremoti è di alterare il livello primitivo del suolo. Nel 1855 nella Nuova Zelanda si sollevò il suolo fino all'altezza verticale di $2^{m}70$, diminuendo gradatamente fino a 0^{m}, alla distanza di 53 chilometri dal punto di massima elevazione. Così avvenne al Chilì nel 1822 e a Ullabun nel 1819, sollevandosi permanentemente la costa per un tratto considerevole.

842. Possono del resto immaginarsi di leggieri i mille accidenti che devono segnalare le brusche oscillazioni del suolo, anche dopo cessate le scosse. Trattasi di masse rigide, d'enorme spessore, capaci di un diverso

grado di resitenza, scosse, spostate, con urti subitanei e violenti. Le figure 91 e 92 presentano alcuni casi, i quali possono bastare pei mille che il lettore può immaginarsi da sè. La figura 91 presenta due case col ri-

Fig. 91. Case guaste dal terremoto in Valacchia.

spettivo suolo, quali rimasero in seguito al terremoto che scosse la Valacchia nel 1838.[1] Dal piccolo al grande si vede come può essere tormentata una intera regione, creandovisi eminenze e valli, e rimanendo alterati profondamente i rapporti degli strati che la compongono.

La figura 92 rappresenta la gran torre di Terranuova in Calabria, quale fu lasciata dal terremoto del 1783. Essa fu spaccata verticalmente da cima a fondo, e le due metà vennero spostate nello stesso senso in guisa, che l'una rimase 15 piedi più alta dell'altra. Sul piano di frattura però le due metà si mantennero così aderenti, che nessuno si sarebbe così di leggieri avvisto del fenomeno accaduto,

Fig. 92. Torre di Terranuova in Calabria.

se non l'avesse facilmente svelato la mancanza di corrispondenza tra i corsi di pietra componenti la torre in conseguenza della rottura e del salto delle due metà.

843. Il mutarsi del corso dei fiumi in seguito ad un terremoto è pure

[1] Questi disegni, copiati dall'opera di Leonhard, *Geologie oder Naturgeschichte der Erde*, Vol. 5 pag. 131. si trovano originariamente nell'opera di Schüler su quel terremoto.

un fenomeno volgare. Lo si osservò, p. es., nel terremoto di Lisbona. A Java nel 1789 il Dotog, piccolo fiume, sparì entro una fessura e continuò il suo corso sotterra. I fenomeni relativi alla modificazione del regime delle acque si erano verificati su più grande scala pure a Java nel 1669. Il fiume che passa a Batavia ed ha le sorgenti sul monte Salak, il cui vulcano era in piena eruzione, gonfiossi d'improvviso; torbido e fangoso sradicò gran numero d'alberi, e rimanendo sbarrato da sette colline rovesciate, cioè da sette grandi scivolamenti di terreno, inondò il paese. Pesci e coccodrilli giacevano confusi con bufali, tigri, rinoceronti, scimmie, daini, ecc. Nove colline si rovesciarono pure nel Tangaran, onde una inondazione spaventevole di fango: vuolsi che sette de' suoi affluenti sparissero inghiottiti.

844. Il fondo scosso del mare reagisce sull'onda, agitandola come fanno le ruote d'un battello a vapore. A Cadice, durante il terremoto di Lisbona, le onde si sollevarono 20 m. sul livello ordinario. Presso l'isola Lemus (Chilì), nel 1837, il capitano Coste ebbe il bastimento scosso violentemente. Il fondo del mare si era alzato permanentemente 2m4. Nel terremoto del 1835 al Chilì, dopo la scossa, videsi il mare ritirarsi dalla Baja della Concezione. I vascelli, galleggianti sulla profondità di 7 braccia (marine), si trovarono in secco, e tutti i bassi fondi si resero visibili. Ma il mare ritornò, precipitandosi sul lido tre volte di seguito con onda altissima. Nel 1746 uno spaventevole terremoto scosse il Perù. Si contarono 200 scosse in 24 ore. Due volte l'Oceano si allontanò dal lido, e due volte vi si precipitò con impeto irresistibile. Lima fu distrutta; parte della costa presso Callao trasformata in un golfo; 4 porti inghiottiti; 23 bastimenti colati al fondo; 4, tra i quali una fregata, portati entro terra a considerevole altezza e lasciativi in secco.

845. Quella forza, che si traduce in tanti modi alla superficie del suolo, deve operare in modo analogo nell'interno, fino a ignote profondità. Le acque circolanti, i vapori o i gas condensati nelle sotterranee cavità, i fanghi del sottosuolo, mantenuti pastosi dalle acque, dovranno risentirsi in mille guise di quelle strette. Una delle conseguenze più immediate sarà, che le acque, i gas, i fanghi, pigiati nell'interno, sian schizzati fuori, attraverso le squarciature e i crepacci che si vanno formando. Io credo che la maggior parte dei fenomeni endogeni, che accompagnano i terremoti, cioè eruzioni di acque calde o fredde, eruzioni di vapori e di gas, eruzioni di fango, si possano spiegare a questo modo; non siano, cioè, che fenomeni conseguenti all'azione meccanica, esercitata dal terremoto, fino a ignote profondità.

846. Eruzioni d'acqua calda ebbero luogo, p. es., a Catania nel 1818.

Eruzioni di vapori acquei accompagnarono il terremoto del Mississipi nel 1812. Mofette, eruzioni di fango, fumo denso, fiamme accompagnarono i terremoti di Messina nel 1783 e di Cumana nel 1797. Nel terremoto di Lisbona, fiamme e una colonna di fumo erompevano da un crepaccio apertosi presso la città; si udivano intanto detonazioni sotterranee, e il fumo diventava tanto più denso, quanto più esse crescevano. Il gas acido carbonico, ossia la mofetta, sviluppossi copiosa alla Nuova Granata nel 1827. La moja, una specie di torba fangosa, composto singolare di carbone, cristalli di augite, gusci silicei di infusori, durante il terremoto di Riobamba uscì dal suolo in copia enorme, seppellì diversi villaggi e formò immenso numero di piccoli coni. Gli Indiani ne fecero uso come di combustibile [1]. Si osservano anche formarsi dei coni di terra, i quali, nel terremoto del Chili (1822), attinsero fino ad 1m2 di altezza. Ma questi sembrano semplicemente il prodotto di sorgenti improvvisate, che sgorgano, lasciando una cavità ad imbuto, e deponendo il fango all'ingiro.

847. Anche le sorgenti termali si risentirono sovente delle convulsioni del suolo. Durante il terremoto di Lisbona, p. es., le sorgenti termali di Toeplitz si arrestarono improvvisamente, poi sgorgarono impetuose, colorate di ocra ferruginosa, inondando la città. Le sorgenti termali di Sarein, all'ordinaria temperatura di 44° a 46° cent., in un terremoto che si fece sentire nel territorio d'Ardebil in Persia (1848), divennero cocenti e lo rimasero per un mese. Quelle di Saint Maurice (Vallese) crebbero circa di 5° durante il terremoto della Svizzera nel 1851. Narrasi che in Grecia i terremoti furono accompagnati dall'esaurirsi di sorgenti termali e dall'aprirsi di altre. Il terremoto di Tabarich in Siria nel 1837 fu pure segnalato dallo schiudersi di nuove sorgenti termali. Anche in seguito all'ultimo terremoto di Calabria (4 ottobre 1870) le acque dei ruscelli, dei pozzi e del fiume Crati crebbero di molto, e mostraronsi calde e fumanti. Alcuni ruscelli perdettero il loro corso, altri lo raddoppiarono. Le fontane sorgive generalmente aumentarono quasi della metà, e rimasero torbide per lungo tempo. Le acque termo-minerali di Guardia-Piemontese crebbero, sgorgando a guisa di torrente. Durante lo stesso terremoto si risentirono pure le *salse* o *vulcani di fango* di San Sisti a 12 chilometri da Cosenza, e di Torre-del-Ponte nella Sila Piccola. Quelle di San Sisti sono

---

[1] La moja non è altro, a quanto pare, che un deposito torboso, formatosi nei laghi crateriei, uo imposto di vegetali ed infusori lacustri con terre vulcaniche. È facile comprendere come quel fango possa essere schizzato fuori dal suolo in movimento, o trasportato dalle acque, che sgorgano sovente dal suolo con violenza durante i terremoti.

già ben note agli abitanti per le loro eruzioni salse, accompagnate da interni boati. Ma l' eruzione del 4 ottobre 1870 fu abbondantissima, e accompagnata da violentissimi rombi. Si parla anche di una nebbia polverosa di odor bitum'noso, che si vide levarsi e passare, seguendo una linea determinata, precisamente negli istanti delle maggiori convulsioni. [1]

848. Da quanto fu esposto si sarà dedotta l'importanza geologica dei terremoti, per riguardo alla grandiosità ed alla varietà delle modificazioni, che un tale agente tellurico può operare, alla superficie non solo, ma nell' interno del globo; ma l'importanza dei terremoti si accresce a dismisura, se si considera il cumulo di quei grandiosi effetti proporzionato alla loro frequenza. Questo agente terribile che scuote, squarcia i monti, solleva d'un sol colpo stabilmente da 1 a 2 m., una estensione di 100,000 miglia quadrate, come avvenne al Chili, si desta tutt'altro che di rado. Il terremoto è tra i fenomeni tellurici uno dei più volgari. Al Perù non si bada nemmeno a questo mostro, che, due tre volte per secolo, inghiotte le città. Gli abitanti di Quebec nel Canadà hanno per tradizione che ogni venticinqne anni vi debba essere un violento terremoto. Humboldt è persuaso che non vi sia mai un istante in cui la terra non sia scossa o in un punto o in un altro. Ecco dei dati positivi. Hoff registrò quanti seppe terremoti per quindici anni, dal 1821, al 1836, e ne ebbe uno o più per ciascun mese. Si pigli per base la cifra risultante, e la si moltiplichi proporzionalmente per un dato numero di secoli scorsi, e tenendo conto della immensa estensione di terra e di mare, dove i terremoti possono passare inosservati, e se ne avranno per 6000 o 7000 anni, oltre 2,000,000. Ho detto che il terremoto, fra le manifestazioni dell'attività interna del globo, è il fenomeno più semplice; ma non ho detto che fosse il meno imponente. I vulcani sono la più completa manifestazione dell'attività del globo; ma i loro effetti sono altrettanto meno considerevoli quanto più grandioso è il loro apparato. Anzi i più grandiosi effetti devono prodursi nell' interno quando l'attività del globo, intenta a tormentare la crosta terrestre, non trova d'esaurirsi in un'eruzione che la snerva. Se la terra può paragonarsi ad una caldaja a vapore, e i vulcani a valvole di sicurezza, il terribile non è nel rantolo della valvola dischiusa, ma nella forza del vapore che agisce entro la caldaja.

[1] D. Conti, *Memoria e statistica*, ecc., pag. 17.

CAPITOLO XIV.

CONCETTO DELL'ATTIVITA' CENTRICA E DELL'ATTIVITA' PERIMETRICA DEDOTTO DAI RAPPORTI DEI FENOMENI VULCANICI FRA LORO.

849. La rassegna delle manifestazioni secondarie del vulcanismo deve aver già maturato nella mente del lettore l'idea, più o meno determinata, degli intimi rapporti, che legano quelle secondarie manifestazioni alle primarie, cioè ai vulcani. Anzi tutto le manifestazioni secondarie non sono altro che i singoli fenomeni vulcanici isolati, individualizzati. Si direbbe che le manifestazioni secondarie sono l'analisi fisica della primaria, come questa è la sintesi di quelle. Oltre questi rapporti, direi di natura, che legano tutti i fenomeni descritti in un solo complesso, sintetizzato nella parola vulcanismo, esistono dei rapporti topografici, i quali rendono visibili e palpabili i rapporti fisici.

Dove abbiamo noi difatti cercato le manifestazioni secondarie? Nei distretti vulcanici. Le salse, i vulcani di fango, le emanazioni gasose, le sorgenti geyseriane, le sorgenti di petrolio, i terremoti, ecc., ci apparvero esistenti soltanto, o almeno condensati nei distretti vulcanici, nelle regioni perimetriche dei vulcani. Uno studio più determinato della distribuzione geografica delle manifestazioni secondarie non farà che tradurre sempre meglio in un fatto grandioso gli intimi rapporti dinamici fra i vulcani e tutte le secondarie manifestazioni del vulcanismo, preparandoci a ricevere l'idea, che tutti i fenomeni descritti non sono realmente che altrettante manifestazioni della stessa attività, la quale ci si rivela in un modo più o meno completo secondo le circostanze.

850. Già sappiamo come in genere i vulcani descrivano una zona, parallela al perimetro dei continenti, che si svolge tutto all' ingiro del globo: ebbene il signor Mallet, raccogliendo quanto potè di dati sui terremoti, riuscì a tracciare una carta sismografica, riportata da Scrope sulla carta che questo secondo autore pubblicò de' vulcani. È una cosa invero sorprendente in vedere come la zona di ombreggiatura, che indica sul planisfero l'attività sismometrica, coincida precisamente colla zona accennata

dai punti vulcanici; come, prescindendo da alcuni particolari di cui non giova ora occuparci, quel grande sistema, che io chiamerei il perimetrico-continentale, si verifichi tanto pei vulcani come pei terremoti. Dirò di più: se percorrete quella zona, formata dalle due zone sovrapposte (la vulcanica e la sismometrica), troverete che essa vi ombreggia del pari tutti i luoghi più segnalati anche per le secondarie manifestazioni della vulcanicità, per l'abbondanza cioè delle emanazioni gasose, delle sorgenti termali e minerali, delle salse, delle sorgenti di petrolio, ecc.

851. Naturalmente la stretta zona che comprende i soli veri vulcani, deve dilatarsi assai per comprendere anche i terremoti, le emanazioni gasose, ecc. Supposto un centro vulcanico, le scosse che ne dipendono, i gas che ne emanano e, per conseguenza, le sorgenti minerali e termali, possono e devono manifestarsi, anche a grande distanza da quel centro, ove il complesso delle manifestazioni vulcaniche ha origine immediatamente dall'orifizio del cratere. La zona vulcanica rimarrà così enormemente dilatata. Siccome però anche le secondarie manifestazioni dovranno essere tanto più facili e più poderose, quanto più prossime al cratere; così essi fenomeni, concentrati su uno spazio relativamente angusto intorno a ciascun vulcano, segneranno una zona più larga di quella delineata dai soli vulcani, e che rivela anch'essa, anzi dilata quella zona di fessure e di dislocazioni già resa evidente dai soli vulcani.

852. Non vi sarebbe quindi nemmeno più luogo a distinguere i vulcani dalle salse, dalle emanazioni gasose, ecc., considerandoli tutti nella unità della loro origine. La distinzione riescirebbe soltanto basata sulla parzialità delle singole manifestazioni. È in questo senso appunto che io distinguo una *attività centrica*, la quale cioè si manifesta completa nei vulcani, ed è caratterizzata sopratutto dalla protrusione dall'interno all'esterno di masse solide, cristalline, da una *attività perimetrica*, incompleta, che si manifesta all'ingiro e a breve distanza dai vulcani, cominciando sugli stessi coni, colle fumajole all'ingiro dei crateri, e dilatandosi, irradiandosi a grandi distanze, con ogni genere di manifestazioni, stufe, geyser, mofette, fontane ardenti, salse, petroli, sorgenti minerali e termali, terremoti, ecc.

Questo concetto di una *attività centrica*, indicata da un complesso di fenomeni, costituente i veri vulcani, e di una *attività perimetrica*, affermata da complessi più parziali, in dipendenza topografica coi fenomeni dell'attività centrica, è di una immensa importanza per la *geologia endografica*. Vedremo infatti come una quantità di fenomeni geologici si spiegano ammettendo, che nelle età più remote esistessero, come al presente, vulcani e zone vulcaniche, da cui, come da centro o da asse, derivavano,

sopra corchie o zone più o meno vaste, le secondarie manifestazioni, di cui restano le traccie nelle roccie metamorfizzate, nei filoni riempiti di minerali, ecc.

853. A ben fissare il concetto dei mutui rapporti fra tutti i fenomeni vulcanici, e quello specialmente di una attività perimetrica, derivante da quella attività centrica che dà vita ai vulcani, giovi uno sguardo alle regioni meglio segnalate per la copia delle manifestazioni secondarie. Vedremo come queste regioni siano anche eminentemente regioni vulcaniche.

Cominciando dalle regioni meridionali dell' Asia, il missionario Imbert riferisce come nella provincia di Ou-Tong-Kiao si trovano sparsi, sopra una zona larga quattro leghe e lunga dieci, parecchie decine di migliaia di pozzi, scavati da tempo immemorabile per l'estrazione delle acque salate e dei *bitumi*, che si incontrano a circa 1800 piedi dalla superficie. Alcuni pozzi esausti furono spinti fino alla profondità di 3000 piedi, e diedero origine ai così chiamati vulcani artificiali, cioè a correnti di gas idrogeno carbonato, utilizzato esso pure a produrre l'evaporazione, necessaria ad ottenere la cristalizzazione del sale nelle caldaje, di cui si contano più di 300 in un solo stabilimento. Abbiamo dunque anche qui tre prodotti, che così spesso si accompagnano nelle manifestazioni vulcaniche, sviluppati su scala gigantesca. Le sorgenti di fuoco (Hotsing) e le montagne ardenti (Ho-schan) non sono altro, a quanto pare, che sorgenti di idrogene carbonato in combustione; esse appajono partendo dalle provincie di Yeun-nan, Kouan-si e Szu-thouan, sui confini del Tibet, sino alla provincia settentrionale di Schansi. Il gas, infiammandosi, spande odore bituminoso. La celebre sorgente di fuoco, a sud-ovest di Khioung-tscheou, sgorgando con fracasso, illuminò tutto all'ingiro il paese per ben mille anni, partendo dal secondo secolo dell'êra nostra, finchè si spense nel secolo XIII; e un'altra montagna ardente, dai dirupi inaccessibili del Py-Kiaschau, lanciava altissimi getti di fiamme al piè d'una montagna coperta di nevi eterne.

Il petrolio, nelle provincie cinesi, trova appena modo di venire accennato allo stato di bitume, o come risvegliante un odore bituminoso, dagli scarsi viaggiatori, la cui attenzione venne, deve dirsi, assorbita dalle spettacolose manifestazioni dell' idrogene carbonato; ma ripiglia i suoi diritti nelle provincie a sud-ovest, cioè nell'Indo-China. Il poco che ci è noto circa i petroli dell' Impero Birmano basta a darci un concetto ben grandioso della formazione petrolifera colà. Ci si assicura che in una sola località, presso Iraouaddi, vi hanno 520 pozzi, che forniscono annualmente una sterminata quantità di petrolio.

854. Queste prime manifestazioni dell'attività vulcanica vanno esse ac-

compagnate da altre più caratteristiche? Cominciamo a dire che, come accenna Humboldt, l'idrogene carbonato trovossi talora esaurito o rimase interrotto da terremoti. Ma anzi tutto si pensi all'enorme sviluppo di quella zona vulcanica, ove pare che tutta si concentri l'attività del globo. Dalle isole della Sonda alle Molucche e alle Filippine, da queste alle isole del Giappone, alle Curili e alla penisola del Kamtschatka, terminando colle Aleuzie, abbiamo una zona vulcanica, un vero esercito di vulcani, schierato sovra una linea di oltre 4000 miglia, che stringe, per dir così, d'assedio l'Impero Celeste. Si tratta di regioni, in gran parte, pressochè sconosciute, intorno alle quali, prescindendo da alcuni studi di innegabile importanza, riguardanti specialmente le isole della Sonda, non ci giunsero altre novelle, che quelle recateci dai viaggiatori, i quali contemplarono dal mare i monti ignivomi, o appena misero piede sulle sponde infuocate. Ad onta di ciò sull'opera monumentale di Leopoldo de Buch si possono contare su quel tratto, di circa 7000 miglia, circa 130 isole vulcaniche o vulcani, la cui attività, sancita per la maggior parte, è segnalata per molti da smisurate eruzioni o da spaventevoli catastrofi. So che mal si fondano delle teoriche su dati così incerti, o forse parrà ad alcuno che spingere l'attività vulcanica della Sonda, delle Molucche, del Giappone a distillare i bitumi, a concentrare i sali ed a nutrire gli eterni incendî dell'Impero Celeste, sia troppo ardita ipotesi. No: l'ipotesi è più gratuita per scarsezza di dati, che non ardita per esagerati supposti. Quando io penso in quanto giro si espanda l'attività del sistema vulcanico d'Italia, relativamente microscopico; quando vedo il Nuovo Continente, cinto pur esso da gigantesca zona di vulcani, tutto, oso dire, in preda a continue convulsioni; mi sento animato ad insistere nella mia ipotesi, attribuendo la produzione, su scala sì immensa, degli idrocarburi (quasi unica manifestazione secondaria di cui abbiamo notizia) nella China e nell' Indo-China, al più immenso sviluppo della zona di vulcani che la ricingono.

855. Se ci volgiamo a occidente, oltrepassata l'India e insinuatici nel Golfo Persico, ci troviamo in uno dei paesi più ricchi di petrolio. Tutti gli autori dell'antichità parlano con meraviglia dell'estrema abbondanza di secondarie manifestazioni e de' bitumi che servirono alle meravigliose costruzioni di Babilonia. Che apparizioni ignee qui, come altrove, accompagnassero le sorgenti di petrolio, pare indubitato, dacchè parla Plinio di un campo ardente, quasi lago di fuoco, dell'estensione di un jugero. Fosse una *fontana ardente*, o una *salsa* infiammata, o un lago di bitume che ardesse, chi ne deciderebbe? Ma è vero pur sempre, che ai petrolî si associano costantemente diverse manifestazioni, di natura, più o meno, evidentemente vulcanica. Poi si consideri, come i colossi che fanno co-

rona a quelle terre desolate, la Persia, la Siria, l'Arabia, siano o irti di coni vulcanici, o pieni d'indizî d'una vulcanicità, che si svela per tutta la serie delle sue manifestazioni.

856. Abbassiamo infatti lo sguardo su quella vasta depressione, la maggiore del globo, che comprende i bacini gemelli del Caspio e dell'Aral. Quell'immensa bassura conta un milione e mezzo di miglia quadrate, come dice Maury, o più di quattro milioni di chilometri, come afferma Scrope. Legati alle tradizioni di antichissimi sconvolgimenti, quei mari imprigionati entro terra, quei laghi di sale, quegli inospiti deserti, quelle catene di vulcani colossali, attestano un'epoca d'una attività immensa, che agitò, sconvolse, forse mutò interamente l'aspetto di quelle regioni, che or direbbersi commosse ancora dagli ultimi guizzi spasmodici, che sopravvivono al sedarsi delle più orribili convulsioni. Ecco un paese ben interessante per la storia dell'uomo e per la storia del mondo; per la storia propriamente detta, e per la geologia.

857. Nella depressione aralo-caspiana tutto indica come quelle regioni furono il teatro di grandi sconvolgimenti, in tempi, relativamente, recentissimi. L'uomo vi avrebbe assistito, e forse fu fin d'allora costretto a cercarsi altrove una terra, lungi dalla patria omicida.

Quel furor convulso che agita al presente i mal fermi altipiani colossali d'America, tormentò un tempo le regioni occidentali e centrali dell'Asia. Chi percorre quelle strane contrade, è ad ogni tratto sorpreso dalla vista di coni giganteschi, di circhi vulcanici, di lave disseminate. Dubois de Mont-Pereuz descrisse sei anfiteatri o regioni vulcaniche soltanto lungo i monti che fiancheggiano, a occidente, l'enorme depressione. Tufi, basalti, trachiti, monti vulcanici, crateri, da cui sembrano or ora eruttate correnti di lava, scorgonsi all'ingresso della valle del Kour, che si versa nel Caspio, e circondano il lago Sevan a nord-est di Erivan. Sovra tutti torreggia l'Ararat, che eleva i suoi coni gemelli dalla valle piana di Araxe, come due gigantesche piramidi cui serve di base una gigantesca catena di montagne. Il grande Ararat ha, come l'Etna, come cento vulcani suoi contemporanei, un enorme cratere a ferro di cavallo: là si chiama valle di San Giacomo ciò che sull'Etna è detto Val-del-Bove. L'Ararat, come l'Etna, ha i fianchi squarciati e ingrumati di enormi correnti di lave antiche e antichissime, ed è, come l'Etna, sparso di cento coni, donde eruppero le prodigiose correnti che portarono l'incendio fino a 175 chilometri di distanza. I recenti indizî di attività attestano che l'Ararat non si può noverare tra i vulcani spenti, e che le sue fasi di potente attività, a cui devono i coni vulcanici la propria elevazione, possono difficilmente rimontare a tempi antistorici. Si narra infatti che nel 341 le montagne d'Ar-

menia si dischiusero vomitando fiamme e fumo, e che tali fenomeni continuarono per tutto il resto del secolo; che nell'ottavo secolo vi ebbe luogo una perfetta oscurità di 40 giorni, dovuta, secondo ogni apparenza, a una nube di ceneri vulcaniche; finalmente che un getto enorme di vapori e di massi petrosi sia uscito con grand'impeto dal seno dell'Ararat durante lo spaventevole terremoto del 1840.

858. Del resto l'Ararat non è che uno dei punti culminanti di un gran sistema di vulcani, che gli si svolge ai lati, su immensa zona. Abich contemplava dall'alto del piccolo Ararat i magnifici crateri di quella parte del sistema che si dilata a nord-ovest. A nord del gruppo vulcanico dell'Armenia, e sempre in riva al Caspio, si eleva, irta di vulcani, la catena del Caucaso, ove vaneggia, alla suprema altezza di 5,600 metri, il cratere dell'Elburz. Le lave del Caucaso che, secondo Abich, ricoprono dei sedimenti ove trovansi fossilizzate quelle stesse conchiglie che ancor vivono nel Caspio, sono testimonio di non antiche eruzioni.

859. Al sud del Mar Caspio, nella catena persiana dell'Elburz, torreggia il Demavend, montagna ignivoma, trovata da Taylor Thomson nel 1837, in quello stato che spesso consegue ai periodi di eruzione, cioè allo stato di solfatara. La formazione vulcanica pare del resto sviluppatissima in Persia, come considerevole n'è detta la produzione dei petroli. Dagli incendi vulcanici, o dalle fontane ardenti, avrebbe origine il culto del fuoco?... Si lamenta il difetto di notizie appena particolareggiate. Esse bastano però per autorizzarci a conchiudere che tutta la cerchia sud-ovest della grande depressione occupata dal Caspio, è un recinto vulcanico o, forse meglio, una porzione di un recinto gigantesco, che può supporsi comprendere tutta la cerchia meridionale della grande depressione aralo-caspiana.

860. Eccovi in essa un tipo di ciò che noi intendiamo per regione vulcanica. L'attività vulcanica si tradisce per tutta la serie delle manifestazioni, che costituiscono la scala della vulcanicità. Frequenti terremoti, anche in tempi a noi vicini, hanno scompaginato e rotto il suolo nell'Armenia e nel Caucaso, e, in generale, nelle regioni comprese tra il Caspio e il Mar Nero. Nei dintorni dell'Ararat sembra anzi che i terremoti siansi resi, da alcuni anni, oltremodo frequenti e terribili. Quello del 20 giugno 1840 rovinò villaggi e città; ed è forse lo stesso che viene indicato, probabilmente per inesattezza di data, da Scrope come avvenuto nel 1841, e scosse i due Ararat fin dalle fondamenta, rotolandone dalle sommità rupi e valanghe.

Le sorgenti termali abbondano nel Caucaso, e le salse, che ci avvezziamo ormai a confondere in uno colle emanazioni di gas infiammabili e colle sorgenti di petrolio, presentansi sviluppate su vastissima scala. Abbiamo veduto

§ 743) come figurino tra le località più distiute per tal genere di manifestazioni i dintorni di Baku (Georgia), sulle sponde occidentali del Mar Caspio; ma esse hanno luogo ad ambedue le estremità, e, in geaere, alle basi del Caacaso, ossia ad est verso il Mar Caspio, e ad ovest verso il Maro d'Azof, e a sud della parte centrale della catena. Sopra una bassa regione souo disseminati, in gran copia, i vulcani di fango, ossia i coni di argilla duttile, untuosa, formati da continna eruzione di grumi e di correnti di fango, che si riversano dai crateri per effetto del continuo sprigionarsi dei gas infiammabili. Alcuni di questi coni formano, come abbiam detto (§ 744), montagne e catene di montague, isole e arcipelaghi.

Murchison, aveado visitato quei luoghi, rimase convinto che quei fenomeni si legaao all'azione ignea dell'interno della terra, così bene come gli altri feaomeni di eruzioae. L'idea è ancor meglio espressa e intesa nella sua generalità da Humboldt.

861. Infatti il 4.° volume del *Cosmos*, di cui il tratto forse più prezioso e più originale sta appunto nel felice tentativo di riuaire, sotto un solo punto di vista, quei fenomeni in apparenza isolati, ma realmente unificati dalla unità d'origine, da noi compresi sotto il nome commune di *manifestazioni dell'attività vulcanica;* mentre ci dà le ragioni di una tale associazione, ci offre il miglior quadro di quegli stessi fenomeni nella classica regione in cui ora ci troviamo. Anche dopo il molto che abbiam detto in proposito, può interessare il segnente brano del *Cosmos*, benchè si alluda a fatti da noi già forse con maggiore precisione riferiti sulla scorta di Abich. « Abich, così addentro nella cognizione della parte caucasea dell'Asia Minore, è il primo che abbia afferrato la grandezza e i mutui rapporti di quei fenomeni. Secondo lui, i vulcani di fango e i fuochi di nafta del Caucaso sono disposti sopra linee determinate, facili a riconoscersi, e sono incontestabilmente in rapporto cogli assi di sollevamento degli strati, o coll'andamento delle loro dislocazioni. I vulcani di faugo, le emanazioni di nafta e i pozzi salati occupano, nella parte sud-est della catena, lo spazio di 240 miglia quadrato, disegnando un triangolo isoscele, la cui base sarebbe il littorale del Mar Caspio, da Balachaai al nord di Baku, fino ad una delle foci del Kur (l'antico Araxes) presso le sorgenti termali dei Salliau. Il vertice del triangolo è situato presso Schagdagh, nell'alta vallata di Kinalaghi. Là, sui confini di una formazione di dolomie e di schisti, a 7834 piedi sopra il livello del Caspio, presso il villaggio stesso di Kinalughi, erompono i fuochi eterni di Schagdagh, che nessun avvenimento meteorologico non ebbe mai spenti. L'asse medio del triangolo risponde alla direzione, che debbono indubbiamente seguire i terremoti, così frequenti a Schamacha, sulle rive del Pyrsagat. Avanzaadosi

più lontano verso nord-ovest, si incontrano le sorgenti solforose e termali di Akti, sopra una linea che si confonde colla cresta principale del Caucaso, nel luogo stesso ove essa catena si eleva per formare il Kasbegh e servir di limite al Daghestan occidentale. Le salse delle basse terre, ordinate sovente in file regolari, vanno aumentando di numero a poco a poco, e mano mano che si approssimano al Mar Caspio, tra Sallian, la foce del Pyrsagat vicina all'isola Swinoi, e la penisola di Apscheron. Offrono le traccie di successive eruzioni di fango, e sono sormontate da piccoli coni, uguali per la forma a quelli del Jorullo nel Messico, e lasciano sfuggire un gas infiammabile, che talvolta si accende spontaneamente. Considerevoli eruzioni di fuoco avvennero numerose, fra il 1843 e il 1849, sopra l'Oudplidagh, il Nabalath e il Touraudagh. Presso la foce del Pyrsagat, sul vulcano di fango detto Toprachali, trovansi masse di marna nera, che si piglierebbero, a prima giunta, per basalte o dolerite a grana finissima, e che sono indizî di un anormale considerevole aumento nell'intensità del calore sotterraneo. Sopra altri punti, nella penisola di Apscheron, Lenz trovò dei frammenti scorificati, che pajono esser eruttati da un vulcano, e il 7 febbraio 1839, durante la grande eruzione ignea del Baklichli, i venti portarono a grandi distanze delle pallottoline vuote, simili, per la sostanza ond'erano composte, alle ceneri dei veri vulcani [1]. »

862. Potrei intrattenermi ancora a lungo entro i confini dell'Asia, descrivendo i dintorni del Mar Morto, come altro dei distrotti classici per l'associazione di tutti i fenomeni vulcanici. Potrei istituire lo stesso studio analitico, collo stesso risultato, anche sull'Europa, e in genere sulle regioni del Mediterraneo; ma per brevità non mi permetterò che di portare per un istante il lettore sopra un'altra vastissima regione vulcanica, ove il vulcanismo è in piena attività con tutto l'apparato delle primarie, come delle secondarie manifestazioni.

Quella attività, per cui un tempo soggiacquero alle più violenti catastrofi le regioni occidentali dell'Asia, sembra ora trasportata in America, ove infuria e si produce, su scala gigantesca, ciò che qui pure indebolirsi e scemarsi ogni giorno.

863. Cominceremo dal celebre lago di pece della Trinità, la più meridionale delle Piccole Antille, di fronte alle foci dell'Orenoco. — Da qualunque parte si approdi a quell'isola si vede il bitume liquido gemere, e levarsi lentamente dal fondo del mare. Presso il capo La Braye esiste, sulla testimonianza del capitano La Braye, un getto sottomarino, che ribolle talora

---

[1] Humboldt, *Cosmos*, IV, 215.

con tale veemenza da sollevare l'acqua all'ingiro fino all'altezza di 5 a 6 piedi. È un getto di petrolio, che vasto si dilaga sulla superficie del mare. Ecco già un fenomeno il quale, forse meglio che colle parole di Lyell, potrebbe descriversi con quelle di Strabone, che dipingono l'identico fenomeno nel Mar Morto, ove si dice che l'asfalto *emerge in bolle da mezzo il fondo o a fior d'acqua, la quale allora pare bollente, sicchè la superficie del lago, elevandosi nel mezzo, rende immagine di un colle*. Avvicinandoci allo stesso capo La Braye, scorgonsi certe rupi negre, che si spingono in mare: e non sono che ammassi di dura pece. Anche il lido è di pece, e si eleva quasi a gradinata, per la quale ascendereste fino all'altezza di 80 piedi sopra il livello del mare, per contemplare la più grande, o piuttosto l'unica meraviglia di questo genere, il famoso lago di pece della Trinità.

864. Il lago di pece della Trinità è una enorme caldaja, del perimetro di circa due chilometri e mezzo. È un bacino di pece, colmo di pece. Attorno attorno la pece è solida e dura; mano mano che ci avanziamo verso il centro del lago, la pece si riscalda, e finalmente giungiamo in luogo ov'essa è fluida e bollente. Non si potè per nessun modo misurare la potenza di quella strana formazione; ma dev'essere immensa.

Gumilla, autore di una *Descrizione dell'Orenoco*, narra come, or sarà un secolo, in un punto della costa occidentale della Trinità, il suolo sprofondossi d'improvviso a circa mezzo cammino tra la capitale ed un villaggio indiano. Gli abitanti mirarono atterriti quel baratro converso in piccolo lago di pece.

865. E avrebbersi indizî di speciali sconvolgimenti di cui quella terra, e specialmente il lago di pece, fossero il teatro? Trattasi di un'isola, la cui scoperta è relativamente recente; di un'isola che, a quanto pare, non fu che in epoche recentissime visitata da uomini della scienza. Tuttavia, osservando come tutto all'ingiro il paese è così sepolto sotto la pece, che ne emergono le sole eminenze; che la pece, riversandosi quasi da un cratere all'altezza di 80 piedi, corse al mare e costituì, entro i suoi dominî, rupi di pece; chi dubiterebbe che quella caldaja, ancora bollente, non fosse andata soggetta ad eruzioni, a rigurgiti potenti? Sappiamo del resto che associate ai laghi di pece sono in quell'isola le salse, cioè i vulcani di fango bollente, come si esprime Leonhard, alla distanza di 14 miglia dal lago. Per poter accordare il suo giusto valore ad un fenomeno, che non va distinto dalle sorgenti di petrolio, più che non si distingue un lago dalle sorgenti che lo alimentano, giovi considerare quell'isola di pece ne'suoi rapporti colle regioni circostanti, le quali, come le sponde occidentali del Caspio, come le regioni del Mar Morto, costituiscono un vero distretto vulcanico, ove tutte le manifestazioni, a qualunque grado della scala vulcanica, si associano, si seguono, si avvicendano.

866. Al di là del golfo delle Antille, sulla costa nord dell'America meridionale, a due miglia dal porto di Cartagena, soffiano le famose salse, ossia vulcani di fango di Turbaco, così ben descritti da Humboldt nel quarto volume del *Cosmos*. Sarebbero adunque, benchè a grande distanza, congiunti coi laghi di pece della Trinità da quella grande zona di commozione, che tormenta le coste della Venezuela, e fa fuggire i cocodrilli, i quali dall' Orenoco fuggono alla foresta spaventati dalle convulsioni, che al letto del fiume fanno subire i terremoti che desolano quelle contrade. [1] Caracas fu sepolta sotto le proprie rovine nell'anno 1812. Quella spaventosa catastrofe è certamente una delle più atte a mostrarci l'intima connessione di fenomeni d'indole diversa che possono manifestarsi su quelle zone di commozione, ove si esercita l'attività vulcanica così varia nelle sue manifestazioni. Durante quel terremoto il suolo ondeggiava a sussulti, come un liquido bollente; gli edifici della sontuosa città in un batter d'occhio diventarono il sepolcro di 10,000 abitanti; si sfasciavano i monti, mentre spaventevoli detonazioni si udivano sotterra; le *aguas calientes de las Trincheras*, che prestano i tepidi lavacri a' mostruosi cocodrilli e i *bannos de Mariara* di Portocabello, andarono debitori a quelle convulsioni di più larghe foci e di più elevata temperatura. L'acqua era vomitata dal suolo a torrenti presso Valencia e a Portocabello, e il lago Maracaybo scemò di livello. Tutto lo sfogo infine parve si concentrasse nel vulcano di San Vincenzo, una delle piccole Antille, che eruppe, vomitando ceneri e lave, con tali detonazioni, che si sentivano ad una distanza uguale a quella che separa il Vesuvio dalla Svizzera, sopra uno spazio di 1,300 miriametri quadrati. [2] Che avveniva intanto del lago di pece della Trinità e delle salse di Turbaco, l'uno bollente tra il vulcano eruttante e la regione sconvolta, e le altre ben presso ai limiti, ove furono constatati gli effetti violenti di quel lungo parossismò? Chi fu ad osservarli in quell'universale sconvolgimento?

867. Vi ha tuttavia un fatto meritevole di grande attenzione. I *volcancitos* di Turbaco, aggruppati in numero da 18 a 20, alti da 18 a 22 piedi, avevano ciascuno un piccolo cratere di fango, riempito d'acqua, da cui sprigionavasi violentemente il gas, previe profonde detonazioni. Quel gas era puro azoto, con dubbie traccie di idrogene. Così erano le cose nel 1801, quando Humboldt e Bompland visitavano quelle pressochè ignote contrade. Nessuno studiò più oltre quel fenomeno per un mezzo secolo. Intanto avvenivano i giganteschi sconvolgimenti della Venezuela

---

[1] *Cosmos*, I, 174.

[2] Il 26 marzo 1842 fu distrutta Caracas, e il 27 eruppe il S. Vincenzo.

e di tutta quell'immensa zona di commozione. Nel 1850 Acosta rivedeva i *volcancitos*. Dai coni esalava odore di bitume; il petrolio galleggiava sui craterici laghetti; il gas era infiammabile. Forse era già tale un giorno e diè luogo a formidabili vampe, prima che divenisse cratere d'azoto, per ritornare cratere di fuoco. Anche qui una tradizione è ricevuta da Acosta e da Humboldt, come testimonio di singolari avvenimenti e come base di importantissime conclusioni

Sotto il velame de li versi strani.

Gli indigeni narravano all'Acosta, come agli esorcismi di un monaco, i vulcani di Turbaco, da vulcani di fuoco si eran conversi in vulcani di acqua. Quasi ad attestare le violenti fasi di quegli innocenti concetti, proprio li presso, a otto miglia a nord nord-est di Cartagena, il capo Galera-Zamba, che aveva forma di penisola sormontata da un cono fumante pel violento sprigionarsi di vapori e di gas, vomitò un terribile incendio: il cono disparve, e la penisola staccossi dal continente. Ciò avveniva nel 1839. Nel 1848 nuova eruzione di fiamme visibili a 10 o 12 miglia di distanza. Cessato l'incendio, 50 *volcancitos* circondavano il vulcano di gas, sullo spazio di 4 a 5 miglia. [1]

868. La strana alternanza dei gas, e i supponibili incendî a Turbaco, eransi avverati per le salse della penisola di Taman, in faccia a Kertsch. [2] Il 27 febbrajo del 1793, tra il fragore di sotterranee detonazioni, avveniva una eruzione di fango e di gas da una di quelle salse. Una colonna di fuoco si slanciava all'altezza di parecchie centinaja di piedi, mezzo velata da una nube nera. Il gas di quelle salse fu analizzato da Porrot nel 1811, e non era infiammabile: infiammabile invece trovollo Goebol 23 anni più tardi. [3] Si noti che le eruzioni pseudovulcaniche delle salse, per quanto grandiose, accompagnate da tuoni, terremoti sotterranei e da sollevamenti di contrade, sono parossismi di corta durata. Al formarsi della salsa di Jokamoli, il 27 novembre 1827, le fiamme si slanciavano ad un'altezza così straordinaria, che si vedevano ad una distanza di 4 o 5 miriametri. Ma tali non durarono che tre ore, riducendosi tosto ad un metro d'altezza sopra il cratere. Enormi massi, strappati certo da grandi profondità, furono slanciati a grande distanza.

869. Tutti i fatti qui raccolti ci conducono alla conclusione che sovra la

1 *Cosmos*, IV, 237 a 244.

2 Sul Bosforo cimerio, che congiunge il Mar Nero col Mare d'Azof.

3 *Cosmos*, ibid.

stessa zona di commozione possono aver luogo, o contemporaneamente o successivamente, tutte le manifestazioni dell'attività vulcanica; che i vulcani figurano come centro di tutte le secondarie manifestazioni; che fra tutte le manifestazioni vulcaniche esiste un nesso dinamico, che tutte le lega in un solo sistema. Troviamo nelle piccole Antille una catena di vulcani in piena attività; nella più meridionale di esse sgorga il petrolio, e bolle un vasto lago di bitume: violenti terremoti agitano la Venezuela, e vi erompono torrenti d'acque bollenti: le salse bollono e a volte a volte erompono ed ardono a Cartagena e a Turbaco.

870. Ma non bisognerebbe nemmeno arrestarci qui. Partendo da Turbaco, verso le regioni dell'Istmo, noi incontriamo ben presto le grandi regioni vulcaniche di Quito, di Nicaragua, ecc. Noi vedremmo così le grandi manifestazioni dell'attività vulcanica laterale, i laghi di pece e le salse, distesi sopra, o a fianco, di una grande zona vulcanica, che dalle Antille, attraversando l'Istmo, va a fondersi colle grandi zone dei vulcani colossali delle coste occidentali d'America, come le stesse manifestazioni nel bacino del Mar Morto si collegano cogli enormi distretti vulcanici dell'Asia occidentale.

871. Le notizie sulle regioni percorse fin qui, benchè scarse, bastano a mettere in tutta evidenza il concetto della associazione e della mutua dipendenza di tutti i fenomeni vulcanici. Non sono tuttavia sufficienti a palesarci nettamente il modo di tale associazione e di tale dipendenza. La scienza deve percorrere ancora ben lungo cammino, prima di giungere a penetrare, senza tema di errore, il segreto dei rapporti fra i fenomeni riferibili a quella attività che noi abbiamo distinta in *centrica* e *perimetrica*. Noi speriamo tuttavia di impossessarci almeno dei primi recessi; ma anche ciò non può ottenersi semplicemente coi mezzi di cui ci fornisce la dinamica terrestre. Nello studio che ci proponiamo, dovremmo infatti comprendere anche i rapporti fra le manifestazioni vulcaniche e i rilievi del globo. I più intimi rapporti tra questi e quelle sono già a prima vista affermati da quel parallelismo così evidente, che si verifica tra le catene di montagne e le zone tanto dei vulcani, quanto delle secondarie manifestazioni. Circa il parallelismo fra i vulcani e i rilievi del globo, esso fu già sancito quando abbiamo potuto stabilire che i vulcani delineano il perimetro dei continenti (§ 712). Siccome le secondarie manifestazioni si allineano parallelamente ai vulcani, così segnano anch'esse, in termini più larghi, il perimetro dei continenti. Pigliatemi qualunque delle serie di vulcani più note, e vedrete i vulcani, che la compongono, allinearsi alla base di un rilievo, ossia di una catena di montagne. Ma in pari tempo non vi sarà difficile di rilevare come una serie di manifestazioni secondarie si svolga

nel senso dei vulcani, quindi parallelamente alla catena di montagne presa in considerazione.

872. L'Italia ce ne offre un esempio splendidissimo. La serie de' suoi vulcani, attivi o spenti, si svolge con mirabile regolarità alla base della catena degli Appennini, lungo il lato occidentale, mantenendo con essa catena il più meraviglioso parallelismo. Comincia a nord-ovest coi vulcani romani; prosegue coi napoletani; quindi (secondando la cerchia, per cui gli Appennini si ripiegano verso ovest, e si continuano colla catena principale della Sicilia) si manifesta coll'Etna da una parte, colle Lipari dall'altra, e segna l'ultima estremità col vulcano sottomarino, che produsse l'effimera isola Giulia. Le innumerevoli manifestazioni secondarie, di cui è ricca l'Italia, si succedono anch'esse parallelamente ai vulcani, e quindi alla catena degli Appennini. Non parlo soltanto delle emanazioni gasose, delle stufe, delle sorgenti minerali e termali, che si incontrano in così gran numero in vicinanza dei vulcani attivi o spenti. Io ho potuto stabilire una zona maravigliosa di manifestazioni secondarie, che si svolge esattamente parallela alla catena degli Appennini, ma sul lato opposto a quello su cui si allineano i vulcani. Quella zona è delineata da un numero veramente maraviglioso di sorgenti minerali, di sorgenti petroleifere, salse, vulcani di fango, putizze, fontane ardenti.[1] Questa zona comincia alla base dell'Appennino, e sui limiti meridionali della grande pianura del Po, coi petroli di Rallio e di Montechino, coi fuochi di Velleja, coi pozzi salati, a gas idrogeno e petrolio di Salsomaggiore, e colle sorgenti solfuree di Tabiano. Dal Piacentino passa nel Parmigiano coi pozzi petroleiferi e salati di Miano, Riccò, Neviano e Lesignano, quindi nel Reggiano colle emanazioni gasose e coi petroli dell'Enza e colle salse della Querzola. Si rinforza nel Modenese colle salse di Sassuolo, di Nirano, di Monte Pujanello, coi petroli di Monte Festino e di Bettolino, e coi fuochi di Barigazzo, ecc. Siamo nel Bolognese, e la zona delle secondarie manifestazioni ci si rivela collo sviluppo del gas infiammabile a Sassuno, Castel S. Pietro, Bergullo, Rio, col vulcanello di Porretta e coi fuochi di Pietramala. Meno studiata è questa zona delle manifestazioni secondarie nel suo prolungamento lungo gli Appennini meridionali. Si raccolsero però dati sufficienti per ritenere che essa, in luogo di impoverirsi e diradarsi, piuttosto si arricchisca o si condensi. Il petrolio si rivela sottomare nelle vicinanze d'Ancona, ed esiste nella provincia di Ascoli. Nella provincia di Teramo il numero delle manifestazioni secondarie dell' attività vulcanica è tale da sorprendere. Il signor Antonio

[1] Stoppani, *I petroli in Italia* (dal periodico *Il Politecnico*). Milano, 1866.

Amary [1] vi registra 54 sorgenti minerali, fra le quali 5 ferruginose, 31 saline, 16 sulfuree, 2 acidulo-gasose. Non meno meraviglioso è il numero delle salse, di cui 12 sono citate dall'autore, che le distingue in *bollitori* e *stagni bollenti*. Aggiungi il petrolio che surnuota alle acque di diverse sorgenti. Più in là troviamo gli Abruzzi, principalmente la valle del Pescara, colle sue putizze, colle sorgenti di petrolio e specialmente coi suoi meravigliosi ammassi di bitume e di solfi, che accennano a una attività, la quale spiegò in tempi da noi lontani una energia forse assai maggiore della presente. Delle regioni più meridionali, poche notizie ho raccolte. Abbiamo poi già accennato le acque termo-minerali di Guardia Piemontese, e i vulcani di fango di San Sisti e di Torre-del-Ponte, che infuriarono durante l'ultimo terremoto di Calabria (§ 847). Il signor Conti [2] ci fa sapere di più, che tutta la contrada di San Vincenzo, con Bucita e San Sisti, ha sorgenti di acque sulfuree. In San Sisti v'è anche una sorgente salata. La zona delle secondarie manifestazioni non si è dunque impoverita e si continua in Sicilia, coi petrolî di Petralia, di Nicosia, di Aderno e Paternò, e col celebre lago di Naftia o lago di Palici, presso Palagonia, ove continuamente ribolle il gas idrogeno carbonato con vapori di nafta; colla salsa, detta Salinella di Paternò, che sollevossi al grado di *vulcano di fango*, colla formidabile eruzione del febbrajo 1857, della quale fu agente primario il gas acido carbonico; colle salse ancora più celebri della Macaluba, alle quali si associano quelle di Xirbi e di Terrapilata.

873. In questa breve rassegna io non ho indicato che alcuni punti più spiccati: s'intendo però che alle più importanti o più celebri manifestazioni si aggiungono altre mille meno importanti o meno note. Si può con tutta sicurezza asserire, che il limite orientale dell'Appennino è descritto da una serie non mai interrotta di sfiatatoi, di crepature, resa evidente da una serie continua di sorgenti minerali, di salse, di vulcani di fango, di fontane ardenti, di emanazioni gasose d'ogni specie.

874. Esiste dunque, non v'ha dubbio, un nesso dinamico di tutte le manifestazioni vulcaniche fra loro, e del complesso di esse manifestazioni coi rilievi del globo. Il fatto è manifesto, parlante. Ma in cosa consiste precisamente questo nesso? quali sono questi rapporti, che legano tutte le manifestazioni vulcaniche in un solo sistema, e questo vincola, subordina al sistema de' rilievi terrestri? Ripeto che io credo possa la scienza formulare in oggi abbastanza chiara una risposta; ma che la dinamica terrestre vi si proverebbe invano da sola. Perciò attendo il lettore a quel

[1] *Storia naturale inorganica della provincia Teramana*. Aquila, 1854.
[2] *Memoria e Statistica*, ecc., pag. 19.

punto, in cui, dopo aver raccolti gli indizî delle molteplici, successive, rivoluzioni del globo (*geologia stratigrafica*) ci troveremo centuplicato tra mani il numero dei fatti che ci possono guidare a scoprire quell' interno organismo (*geologia endografica*), quel complesso di forze, di cui il vulcanismo non è che una multiforme manifestazione, mentre l' effetto è quel rimutarsi continuo, non della superficie, cioè delle terre e dei mari soltanto, ma dell'interno, d' ogni atomo che compone il pianeta. Al lettore, che non si sentisse di attendere così a lungo, esporrò sommariamente le mie idee, rimandandone però sempre all' *endografia* la dimostrazione.

875. Il sistema di tutti i vulcani del globo rappresenta un gran sistema di rotture, prodotte da interne convulsioni, che tormentarono il globo in epoche anteriori alla nostra. Questo sistema di rotture ebbe luogo precisamente sui limiti fra i rilievi e le depressioni della superficie, tra i mari e le terre, anzi fu causa, che tali differenze di livello avessero luogo sulla superficie del globo. Le fratture si determinarono sopra certe linee, che, riunite, formano un gran sistema lineare, descritto dal sistema degli attuali vulcani. Trattasi di una serie di voragini, le quali aprirono in mille punti una libera communicazione fra l'interno e l'esterno del globo. Da queste voragini, non ancora ostrutte in molti punti, sgorgano, gonfî dal vapore acqueo, che genera i mostruosi pini, quei torrenti di lava, che costituiscono il più caratteristico dei fenomeni vulcanici, che completano un complesso di fenomeni, i quali si manifestano isolatamente anche dove non esiste un cratere vulcanico. Ma alle grandi spaccature della crosta del globo, come succede delle mura di un poderoso edificio rotto e sfasciato da un terremoto, corrisposero squarciature minori, diramantisi dalle maggiori. Queste squarciature secondarie, più larghe e più spesse in vicinanza delle primarie, divengono via via più rade o più anguste mano mano che si allontanano da esse, finchè riescono ai più angusti spiragli, ai peli più capillari. Quelle fessure secondarie, stante la loro angustia, non permettono la protrusione delle sostanze solide o pastose, e, quand'anche la permettessero, rimarrebbero in breve ostrutte dalle materie eruttate. Le acque circolanti invece, il vapore acqueo, i gas potranno trovarvi un'uscita. Anzi le più larghe fessure potranno ancora schindere la via a impasti fangosi, formati a profondità molto minori di quelle ove si formano le lave; le sorgenti termo-minerali, più o meno copiose, troveranno libera uscita dalle fessure, che conservano ancora una certa luce, e ne usciranno gorgogliando coi gas che loro si associano per via: le più anguste fessure, i peli capillari, non saranno praticabili che ai vapori, ai sottilissimi gas, e diverranno stufe, putizze, moffette, fontane ardenti. L'attività genetica e metamorfica si eserciterà così limitatamente lungo i diversi condotti, e

nelle loro circostanze; avremo finalmente dei centri e degli assi occupati dai vulcani; dei circoli e delle zone, ove appajono disseminate, in centri e assi secondari, tutte le secondarie manifestazioni del vulcanismo: ne risulterà finalmente quel gran sistema lineare, quella gran zona flessuosa e ramificata, la quale delinea il perimetro dei continenti; sull'asse, ossia sulla linea mediana di questa zona, avremo le manifestazioni dell'attività eccentrica, ossia i vulcani; sui lati le manifestazioni dell'attività perimetrica, ossia i vulcani di fango, le salse, i geyser, le sorgenti termo-minerali, le emanazioni gasose. Così il vulcanismo si afferma all'esterno con tutto questo complesso di primarie e secondarie manifestazioni che ci appare allo sguardo.

876. Qual'è il primario agente di tutti i descritti fenomeni? il primario agente del vulcanismo? Indubbiamente l'*acqua*. Se noi osserviamo in che consista essenzialmente un'eruzione vulcanica, troviamo che consiste nella emissione di una massa di vapore acqueo a forte tensione. Un vulcano che erompe è una caldaja a vapore che scoppia. Il vapore erge il gran pino; il vapore ribolle dalle lave scorrenti; il vapore alimenta la prima, come l'ultima fumajola. Le correnti di lava, che si riversano dai crateri, le ceneri, le sabbie, i lapilli, le pietre, che piovono o grándinano all'ingiro, non sono che fenomeni conseguenti, diremo anzi accidentali. Sopprimete l'acqua, e avrete soppresse le eruzioni vulcaniche. I vulcani di fango, le salse, le stufe, i geyser, i soffioni, le sorgenti termo-minerali, sono tutti fenomeni acquei essenzialmente. Nelle semplici emanazioni gasose l'acqua non si manifesta, ovvero vi rappresenta una parte secondaria. Abbiamo però dimostrato come i gas che danno origine alle fontane ardenti, alle putizze, alle moffette, ecc., si svolgano dalle acque sotterranee. I petrolî circolano colle acque.

877. Quanta parte deve attribuirsi a questo primario agente nella produzione dei fenomeni fisici e chimici, che fanno del vulcanismo una manifestazione così complessa della attività interna del globo? qual parte pigliano le acque alla genesi delle lave, al metamorfismo delle roccie, alla creazione dei minerali, che si sublimano nei crateri vulcanici o all'ingiro di essi, che impregnano i fanghi vulcanici, che appajono disciolti nelle sorgenti? Come l'acqua è certamente il primario agente meccanico nei vulcani, sarebbe anche il primario agente fisico e chimico del vulcanismo? Sta in essa quella virtù genetica e metamorfica che si rivela con sì meravigliosi fenomeni esterni? Il vulcanismo è forse una semplice conseguenza della circolazione sotterranea delle acque?... La dinamica terrestre ci presterebbe già molti argomenti per rispondere affermativamente a tutte queste domande. Il complesso dei fatti fa certamente presentire al lettore,

che la vita interna del globo dipende, come da prima causa, dalla circolazione sotterranea delle acque. Ma ripeto qui, concludendo, ciò che dissi più volte nel corso della trattazione. La dinamica terrestre non è sufficiente a sciogliere il problema delle origini interne. L'interno del globo, chiuso ai sensi, è aperto soltanto alla induzione. Questa abbisogna di tutti i lumi che le possono prestare il presente e il passato, la dinamica terrestre e la geologia endografica. Noi ci riserbiamo pertanto di rispondere a tutti i quesiti proposti, quando avremo adunati tutti gli elementi, dei quali può giovarsi l'induzione, per reggersi con passo meno incerto entro le terrestri latebre.

CAPITOLO XV.

LE OSCILLAZIONI DELLA CROSTA TERRESTRE.

878. Tra le manifestazioni dell'attività interna una ve n'ha che, per la posizione di alcune regioni, ove si verificò finora, e per il modo stesso con cui si verifica, esclude affatto l'idea di una immediata dipendenza da alcuno dei fenomeni finora studiati; ossia, specificando, dai terremoti e dai vulcani. Parlo delle lente oscillazioni della superficie del globo, fenomeno, che, per quanto grandioso, non poteva rivelarsi alla volgare esperienza, a cui troppo facilmente sfugge quanto si opera lentamente, tranquillamente senza nessun apparato di fenomeni esterni, che sia atto a colpire i sensi. Tale fenomeno fu però posto in chiaro dalla scienza.

879. Che la crosta della terra oscilli, già ce lo dissero i terremoti. Le oscillazioni, ossia i sollevamenti e gli abbassamenti, possono essere o passaggiere o permanenti. Delle passaggiere ci offrono d'ordinario esempio appunto i terremoti, che scuotono intere regioni, e si dileguano senza lasciare alcuna traccia di sè. Ma qui si tratta di quelle oscillazioni che si traducono in un effetto permanente, cioè in uno spostamento della crosta solida del globo. A queste soltanto restringiamo il presente esame.

880. Queste oscillazioni possono essere rapide o lente. Nel primo caso vi potrà essere rottura di strati, e tutti quegli effetti che si riportano ad una trasmissione rapida del moto. Nel secondo caso, invece, potrà non darsi rottura di sorta; poichè anche le sostanze meno duttili possedono un certo grado di elasticità, e possono quindi ripiegarsi senza rompersi, quando il moto sia trasmesso con una lentezza proporzionata. Di ciò meglio a suo tempo.

881. Molte rapide oscillazioni trovano immediatamente la loro ragione in fenomeni da noi considerati, e dei quali possiamo lusingarci di possedere la chiave. Sollevamenti e depressioni ebbero luogo, p. es., in causa delle eruzioni vulcaniche. Non siamo certo di quelli, a cui possa cadere in mente, che una catena di montagne, e anche una sola montagna, possa venir sollevata da un vulcano. Ma non si possono rompere delle masse

compatte, squarciare dei coni vulcanici, senza che avvengano spostamenti, dislivelli, delle masse vicine. Il campo di tali oscillazioni però è assai ristretto; si limita al cono vulcanico stesso, o alla zona perimetrica immediata.

882. I sollevamenti e gli scoscendimenti prodotti dai terremoti assumono già invece un valore considerevole. Trattasi però sempre di oscillazioni rapide e brusche. Tali sono difatti le molte che trovo menzionate dagli autori. Famose sono quelle, p. es., che i terremoti impressero alle coste del Chili. Nel 1822 il Chili si era sollevato in varî punti fin oltre due metri. Nel 1835 le stesse coste sollevaronsi fino a 1m.05; ma poi si abbassarono a poco a poco, finchè non rimasero che $^6/_{10}$ di sollevamento. Benchè, a prima vista, tali sollevamenti sembrino di poca importanza, bisogna riflettere come la loro ripetizione possa averne moltissima. Il sollevamento del 1822 si verificò sopra uno spazio di 100,000 miglia quadrate. Secondo i calcoli di Lyell, supposto il sollevamento di soli 91 centimetri, un volume di 57 miglia cubiche si sarebbe aggiunto al rilievo del suolo. Tale volume equivale, approssimativamente, ad una montagna dell'altezza dell'Etna, che avesse alla base 33 miglia di circonferenza.

883. Nè i terremoti produssero solo de' sollevamenti; mentre del pari numerosi si avverarono gli sprofondamenti. Un terremoto sul delta dell'Indo, nel 1819, sprofondò di 1 a 2 metri una vasta regione. Uno spazio di 200 miglia quadrate si convertì in laguna. In pari tempo però, parallela alla depressione, si sollevava una collina, lunga 50 miglia, larga 16 miglia, alta 3 metri.

884. Finora non abbiamo citato che esempî di rapide dislocazioni; ed esse invero non presentano per sè nulla di misterioso. Ma che diremo di quelle lente oscillazioni, le quali si verificano, su ben più vasta scala, in paesi non vulcanici, lontano dalle zone di commozione, in un modo così insensibile, che non avremmo alcun sentore di questi, che possono dirsi, nell'ordine delle modificazioni presenti e passate del globo, i più grandiosi avvenimenti, se la scienza non possedesse, oltre i sensi, i più sicuri mezzi di dimostrazione? Eccoci nell'argomento del presente capitolo.

885. Primieramente, come possiamo assicurarci che ebbe luogo una oscillazione della parte solida del globo, benchè non ne provassimo alcuna commozione, benchè nulla ce la rendesse sensibile? Bisogna partire dal fatto della invariabilità del livello del mare. Supposto anche che esso livello fosse variabile, lo sarebbe egualmente dappertutto, sicchè, p. es., abbassandosi, lascerebbe le traccie della sua presenza allo stesso livello su tutte le coste del globo. Ora, se io trovo traccie della presenza del mare a livelli affatto differenti, sicchè dovessi conchiudere che il mare qui si è

abbassato, là si è alzato, ovvero che il mare si abbassò o si rialzò di una certa quantità in uno, e di un'altra quantità maggiore o minore in altro sito; dovrò invece confessare, per evitare l'assurdo, che non il mare, ma la solida terra ha oscillato.

886. Le traccie principali di tali oscillazioni sono, pei sollevamenti, i depositi marini con fossili marini, portati a un livello superiore al livello del mare; le traccie dei litofagi [1], ecc.: per gli abbassamenti, le foreste, gli edifizî sommersi, infine tutto quello che dovette essere necessariamente al disopra del mare, ed ora ci sta, o porta i segni di esserci stato al disotto.

887. Il famoso tempio di Serapide a Pozzuoli ci porge il più splendido esempio, come di una vera completa oscillazione, così degli argomenti per sancirla. Le colonne di quel tempio sono alte 13 m. circa. Il pavimento è a 30 centimetri sotto il livello dell'alta marea. A 7 m. di altezza si trova una zona, nella quale le colonne sono tutte all'ingiro traforate da conchiglie litofaghe, i cui gusci scorgonsi ancora nelle cavità piriformi. Ora, quel tempio fu certamente fabbricato, in origine, al disopra del livello del mare: dovette sprofondarsi poi 7 m. sotto al mare, perchè le sue colonne fossero, come le troviamo, trapanate dai litofagi. Di presente quelle colonne sono ancora all'asciutto: dovettero dunque sollevarsi dopo di essersi abbassate. Si possono avere prove maggiori di una completa oscillazione?

Il fenomeno del tempio di Serapide è presentato anche dall'antica diga del porto di Pozzuoli, la quale, se non erro, si ritiene edificata ai tempi di Caligola. Il fenomeno della doppia oscillazione si deve ritenere dunque affettasse, non il tempio di Serapide soltanto, ma tutto il territorio di Pozzuoli, e quei fenomeni singolari avrebbero avuto luogo dopo il principio dell'era nostra.

888. Quando l'idea che i continenti potessero oscillare, che le montagne potessero essere sôrte pel sollevamento dei fondi marini, si presen-

[1] Diconsi litofagi i molluschi, di vario genere, che hanno la facoltà di trapanare la pietra e d'allogarvisi. Le coste rocciose mostransi, per loro mezzo, tutte bucherate, a modo di crivello. Quelle conchiglie si introducono piccine (probabilmente appena nate) nella roccia, e continuano a scavare, mentre si fanno adulte. Così la galleria al interna, allargandosi sempre più, come conviene alla mole crescente dell'animale, pur rimanendone angusto l'ingresso com'era da principio. Così l'animale si scava ad un tempo il carcere perpetuo, e la sepoltura. Lo scavo dei litofagi (almeno delle specie più communi) si limita ad una zona angusta, quasi al pelo dell'acqua, alla zona d'oscillazione ordinaria delle maree e delle onde: direbbesi infine al livello del mare, cui segnano con traccia indelebile. Se la costa si eleva, la distanza tra i fori dei litofagi e il livello del mare ci dà la misura del sollevamento. Vedremo l'importanza e la fecondità di questo canone.

tava come una stranezza, come un assurdo; il fatto così parlante delle oscillazioni del tempio di Serapide era un fatto di immensa portata. I disegni e le descrizioni di esso, riportati in tutti i libri di geologia, ebbero una grande efficacia sulle menti sempre così poco disposte ad accettare ciò che è contrario alla volgare esperienza dei sensi. Ove si cercherebbe un simbolo della stabilità se non nella terra, che fu detta *ferma*, in quello fra i quattro elementi dell'antichità che si presentava per eccellenza, anzi esclusivamente, immobile? Ma ormai la geologia ci ha avvezzi a vedere moversi la terra più burrascosa del mare. Questo ritrova sempre, dopo la tempesta, il primitivo livello: quella invece mantiene elevati nelle più aeree regioni i suoi immensi marosi, sollevati dalle interne procelle. In oggi adunque, che è permesso dubitare, se vi sia un sol palmo di terra a cui si convenga l'epiteto di ferma; l'importanza del fatto dell'oscillazione del tempio di Serapide si è scemata d'assai. Esso è un nonnulla a fronte di quel sistema di oscillazioni, che interessano, non soltanto un distretto, ma vaste regioni, interi continenti, in una parola, tutta la superficie della terra.

889. Il tempio di Serapide infatti sorge nel mezzo dei Campi Flegrei. Il territorio di Pozzuoli è formato letteralmente di quel gruppo di coni vulcanici, la cui conservazione ne attesta l'origine recente. Il tempio e la città specialmente si addossano al vulcano detto la Solfatara, di cui si ricorda ancora la poderosa eruzione avvenuta nel 1198. Le oscillazioni alla superficie di quel suolo trovano dunque una ragione troppo immediata nelle convulsioni che ne agitarono l'interno: ci troviamo insomma in un distretto vulcanico, a ridosso dei vulcani. Nè maggiore importanza, per le stesse ragioni, hanno altri fatti consimili, che si raccolsero più recentemente. Alludiamo specialmente al progressivo sollevamento delle coste del Perù, verificatosi, non gradatamente, ma a urti, a sbalzi, ai tempi nostri. Darwin raccolse in proposito dei particolari interessantissimi, che risguardano l'isola San Lorenzo presso Lima. Uno stato di formazione marina, contenente le stesse specie di conchiglie che vivono attualmente nel Pacifico, vi contiene in pari tempo pannocchie di maiz, fili di cotone, treccie di giunco, in fine i più sicuri monumenti, che quello strato sottomarino formossi in presenza dell'uomo. Ma quello strato trovasi ora all'asciutto, portato a 26 m. sopra il livello del mare. Ma che importa? Anche il Perù è distretto vulcanico, fiancheggia anzi il Pacifico con una delle file più serrate di vulcani, la quale parte di quell'esercito meraviglioso di vulcani, che costituiscono l'orlatura del continente americano verso il grande Oceano.

890. Non sono queste adunque le oscillazioni che ci interessino al presente. Abbiamo indizî di ben altre, grandiose quanto lente, e che si avverano più

specialmente nelle regioni non vulcaniche, che non si possono per nessun verso riferire, almeno immediatamente, nè a vulcani, nè a terremoti. Le località più classiche, dove tali indizî si raccolsero, sono le regioni settentrionali dell'Europa.

Enrico La Bèche [1] cita diversi fatti che attestano le oscillazioni del suolo di Cornovaglia contemporanee dell'uomo. Cranî umani ed oggetti di industria si scopersero a Pertnan e a Carava a 10 e 12 m. di profondità, sotto a strati contenenti conchiglie marine, ossa di balene e di mammiferi di specie viventi. Si direbbe che il suolo, abitato dall'uomo colà, sprofondossi prima, per venir coperto dagli strati marini; certamente poi sollevossi, perchè essi strati si trovassero, come lo sono presentemente, all'asciutto. Nella Svezia gli avanzi dell'industria si trovarono a diversi livelli, entro strati di sabbia e di argille, con conchiglie attualmente vive nel Baltico, sollevati fino a 18 metri sopra il livello del mare.

891. Recentissime sono poi le oscillazioni delle coste est ed ovest della parte centrale della Scozia. Strati marini, a conchiglie viventi, si trovano a 7 e a 12 metri di elevazione. In alcuni punti il detrito glaciale ne è ricoperto. Dei due depositi, il più basso, quello a 7 m. 50 di elevazione, forma dei terrazzi di parecchi chilometri di estensione, messi in evidenza dalle foci de' fiumi, che dovettero roderlo per gettarsi in mare. È negli strati costituenti tali terrazzi, che John Buchanan potè verificare la scoperta, fatta in 24 anni, avanti il 1855, di 17 barche almeno. Cinque erano sepolte nel fango stesso delle vie di Glasgow, dodici a circa 90 m. dal fiume Clyde. Giacevano a 2 m. 10, e fino a 6 m. sopra il livello del mare. Nè c'era luogo a sospettare che un violento uragano le avesse per avventura buttate sul lido, e internate, come talvolta avviene in via eccezionale. Una di quelle barche conteneva gran copia di conchiglie marine, e giaceva con la prua in alto, come fosse colata a fondo da una tempesta nell'atto che guadagnava la riva. Quei battelli appartenevano ad epoche diverse. Mentre la maggior parte erano formati d'un sol tronco scavato, due lo erano di tavole ben connesse. Le tavole di uno dei due, che aveva le eleganti forme delle antiche galere, erano state connesse evidentemente con chiodi metallici, benchè il metallo fosse distrutto. Nei due canotti trovaronsi un'azza in diorite, e un pezzo di sughero, originario sicuramente delle regioni più meridionali d'Europa.

892. Sono brillantissimi i fatti, che si riportano da Lyell, circa le oscillazioni delle coste della Scozia, alla foce del Forth nei dintorni di Edimburgo, nella Valle dell'Esk, ecc., ove l'esistenza di monumenti romani

[1] *Report on the geology of Cornwall.*

servì a fissare, con tutta sicurezza, i limiti di un recentissimo sollevamento di quelle coste, il cui valore è di 7m,50. Il fatto più curioso è quello dell'esistenza di una balena, trovata, con avanzi di umana industria, negli strati di Stirling, elevati appunto 7m,50 sopra il livello del mare. L'idea di un interrimento è affatto esclusa, per mille argomenti, che qui non giova riportare.

893. Parlammo finora di sollevamenti recentissimi, ma che sono pur sempre nel dominio del passato. Tali oscillazioni si verificano poi esse anche attualmente, sotto i nostri occhi, in guisa, che ogni dubbio sia tolto, circa l'interpretazione dei molti fatti da noi riportati? Le osservazioni e i risultati, circa le oscillazioni di alcune regioni settentrionali, appartengono già talmente al dominio della scienza commune, che io non farò altro che riportarli senza discuterli. Vi hanno indizi di un recente sollevamento della Norvegia del valore fin di 180 m. Il movimento ascensionale, dice Lyell, continua ancora in certe parti della Svezia e della Norvegia, e si estende attraverso una superficie di circa 1600 chilometri, da nord a sud, e senza limiti determinati da est a ovest; la sua rapidità aumenta, mano mano che si arriva al Capo Nord, ove, dicesi, abbia un valore di metri 1,50. Per la porzione più meridionale sulla Svezia però, cioè per la provincia della Scania, antiche costruzioni, gradatamente abbassate sotto il livello del mare, dicono piuttosto un movimento di discesa [1]. Più precisamente, secondo Dana, il *maximum* di sollevamento si verifica al nord della Scandinavia, e il *minimum* nei dintorni di Stockolm, dove si trovano ancora all'asciutto letti di conchiglie di specie viventi. Ma già negli stessi dintorni si verificano indizi di attuali abassamenti, constatati in genere pel sud della Svezia [2]. La penisola scandinava adunque sarebbe in balìa di una specie di altalena o di bilancia, sopra un piano di oscillazione diretto da sud a nord, più precisamente da sud-est ove si abbassa, a nord-ovest dove si alza. L'oscillazione si estende alla Danimarca, il cui movimento ascensionale è, secondo Pnggaard, di 5 a 7 centimetri per secolo.

894. Quasi consentendo all'Europa settentrionale, la Groenlandia si va abbassando, a misura che quella si eleva. Il capitano Graah e il dottore Pingel, danesi, affermano, che tutta la costa, dal 60° al 76° di latitudine circa, si andò abbassando in questi ultimi quattro secoli, di maniera che gli antichi pali o passoni, infissi sulla costa per raccomandarvi le barche dei coloni, furono gradatamente sommersi; e che, a più riprese, si dovettero spiantare le case di legno, collocate sulla spiaggia, e internarle. Se

[1] Lyell, *Manuel*, II, pag. 75.
[2] Dana, *Manual*, pag. 586.

condo le recenti osservazioni di Hayes [1], mentre la Groenlandia meridionale si abbassa, la settentrionale si solleva. Il fenomeno cioè avverrebbe precisamente come per la Scandinavia. L'autore lo desnme dall'esistenza di certi terrazzi, i quali sarebbero in origine lidi marini, cioè banchi di *galets*, ossia di ciottoli discoidali, la cui forma è caratteristiea dei lidi marini. Quei lidi, elevati ora in forma di terrazzi sopra il livello del mare, corrono lungo lo stretto di Smith, fra il 78° e il 79° di latitudine. Fino all'altezza di 37 m. sopra il livello del mare vi si scoprirebbero anche, secondo Hayes, le orme fresche dei ghiacci marini.

895. Quasi in faccia alla Groenlandia oscillano le coste degli Stati Uniti, del Labrador, ecc. G. H. Cook indica nn moto lento, ascensionale, in attualità di progresso, sulle coste della New-Jersey, della Long-Island e dell' isola Marta's Vinezard. Secondo A. Gesner poi il paese si solleva a St. Jobn nella New-Brunswick, e si abbassa nell'isola Grand Manan: si alza sulle coste opposte a Bathurst; si abbassa presso la baja di Fundy e il Basin of Mines nella Nuova Scozia, eccetto dalla parte di Sud, e si alza nell'isola Prince Edward. Secondo Darwin poi un movimento ascensionale, lento e graduato, se non si verifica al presente, ebbe luogo certamente in epoca recentissima nell'America del Sud, onde furono proscingati i piani della Patagonia, sparsi di conchiglie marine recenti, e i *pampas* di Buenos Aires.

896. Una volta provato che l' Europa, la Groenlandia e le due Americhe oscillano, qui sollevandosi, là abbassandosi, si ha quasi diritto a conchiudere che tutta la snperficie del globo oscilla nell' uno o nell' altro senso. Ulteriori osservazioni proveranno se ciò si verifichi di fatto pei continenti meno esplorati, cioè per l'Asia e per l'Africa: vedremo però più tardi come il prosciugamento dell' immenso Sahara debbasi ritenere avvenuto in epoca recentissima.

897. Non ci sarebbe egli modo di scoprire se, come le aree terrestri, oscillino le aree marine, ossia i fondi dei mari? Come mai, se il mare, livellandosi, tutto adegua, presentando sempre lo stesso piano uniforme alla superficie? . . . Ma anche qui la natura ha provveduto alla scienza, piantando sui fondi dei mari nn idrometro, il quale segna in nn modo inatteso se le acqne del mare si alzino o si abbassino in un dato punto, cioè se il fondo oscilli sollevandosi o abbassandosi.

898. Abbiamo veduto come nascano e crescano le isole coralline, pel lavoro associato degli animali e delle onde (§ 335-338). Snl chiudere dell' argomento (§ 341) chiamavamo l'attenzione del lettore sulla singolarirà della

[1] *La mer libre*, ecc., pag. 415.

forma, presentata sovente sopra aree estesissime, dai banchi, dalle isole, e dai vasti arcipelaghi corallini. Quella forma, dicevamo, che riappare in centinaja e centinaja di isole, non può essere accidentale. Aggiungevamo, fino d'allora, che la ragione di quella forma non può al certo cercarsi negli istinti degli animali fabbricatori di quelle isole, tanto più che essa non è costante, mostrandosi soltanto in certi luoghi. La forma, a cui si allude, e che costituisce la caratteristica di certi arcipelaghi, è quella degli *atoll* (§ 342).

Intratteniamoci ora più specialmente intorno a questa forma, cominciando dal presentarne come tipo l'isola Keelin, o Cocos-Atoll (fig. 93), nell'Oceano Indiano (12°, 5' lat. sud.), così minutamente descritta da Darwin.

899. Questo banco è composto di diverse grandi specie di *Porites*, di *Millepora*[1], ecc., che nella parte più elevata erano morte, mentre a certa profondità vivevano egregiamente intese a dilatarsi. Gli intervalli, lasciati dai loro monticoli, si riempivano di organismi allo schermo delle onde. Il banco si abbassava verso il mare a lento pendio fino a 60, 70 piedi di profondità, dove erano ancora in pieno vigore di vita i polipi; più oltre, fino a 120 piedi di profondità, lo scandaglio riportava sabbia e frantumi di coralli: a 150 piedi il banco pigliava l'inclinazione di 45°. Alla distanza di 6500 piedi non venne toccato il fondo da uno scandaglio di 200 piedi.

Così si presentano invariabilmente gli atoll. Dalla parte emersa o più prominente pende un morbido *talus* verso mare: ma l'inclinazione cresce presto rapidamente e si inabissa. Ora passiamo alla figura generale del banco.

900. Il Cocos-Atoll, il cui labbro, o anello visibile, ha lo spessore di 800 a 1500 piedi, forma una specie di bacino ellittico. Sommerso per la maggior parte a fior d'acqua, vanta già molti punti elevati ad isole. Queste si formano alla distanza di 600 a 900 piedi dai limiti estremi dell'atoll, presentando una superficie dura, resistente. Alcune hanno già da 7 ad 8 piedi di altezza sul livello dell'alta marea, e v'hanno montoni di sabbia alti fino a 10 piedi. Solo durante le più forti tempeste nuovi materiali possono esservi gittati. Il carbonato di calce, fornito dagli stessi organismi edificatori del banco, va trasformando il tutto in una massa compatta, sonora.

Verso il centro l'atoll s'inclina all'ingiro a dolce pendio, e chiude in seno una tranquilla laguna. Due depressioni, ossia canali, mantengono la communicazione della laguna col mare; per uno soltanto di quei canali

---

[1] Sono polipi sociali, piccolissimi, ma che, associati, secretano un polipajo calcareo, loboso e ramoso, suscettivo di sviluppo indefinito.

passano le piccole barche o canotti, e tale profondità è pur dovuta all'opera degli indigeni che lo approfondirono a colpi di accetta; anzi Darwin trovollo ostrutto dieci anni dopo la prima sua visita. Il fondo della laguna è coperto per metà di coralli, per metà di fango.

Fig. 93. Cocos-Atoll nell'Oceano Indiano [1].

901. È evidente che in progresso i canali rimarrebbero interamente ostrutti, il giro dell' atoll intieramente chiuso, asciutto, e l'atoll si trasformerebbe in un' isola circolare cingente una laguna. Tale è già in fatti la già menzionata isola di Pfingst (fig. 27, pag. 196), una delle meraviglie dell' oceano descritta da Beechey. Eccovi il tipo degli atoll, imperfetto nel Cocos-Atoll, perfetto nell' isola di Pfingst, che si riproduce più o meno perfettamente, in tutte le isole a cui si applica lo stesso nome generico. Nè gli atoll sono una singolarità, e nemmeno una rarità. L'isola Natupe (fig. 94 *b*) nell' arcipelago di Paumotu [2] ad est di Tahiti (Oceano Pacifico) presenta un magnifico atoll, ellittico, allungato, a recinto perfettamentè intero e asciutto, chiudente una regolare laguna, egualmente allungata. L'isola vanta una lunghezza di circa 23 chilometri. Parecchie ne osservate nell' arcipelago (fig. 95) a cui essa appartiene, uno dei tanti arcipelaghi corallini del Pacifico, ove si ripetono, fino alla sazietà, le stesse forme.

902. Fra l'atoll appena incoato, ove la terra asciutta o non appare ancora, o non si presenta che su qualche punto, e l'atoll perfetto (ove la laguna è interamente interclusa dalla terra asciutta), ossia, per citare dei

---

[1] In questa e nelle seguenti figure, le porzioni bianche indicano le parti emerse, cioè sempre asciutte, e già trasformate in isole, dei banchi di corallo. Le porzioni ombreggiate indicano le parti dei banchi ancora sommersi, visibili a poca profondità, o che rimangono scoperte durante la bassa marea. Il mare, i canali e le lagune sono in nero. Si noti però che i canali e le lagune sono assai poco profondi in confronto del mare che circonda gli atoll.

[2] L'*Atlante* di Stieler scrive Tuamotu.

tipi, tra il Cocos-Atoll e l'isola Pfingst, stanno gli atoll che presentano nella loro costituzione i diversi gradi di un processo progressivo di formazione, che, iniziato chi sa da quanti secoli, continua ancora, e può essere stato da diverse circostanze o accelerato o ritardato. Così, p. es., l'isola di Menchikof (fig. 96), una delle Caroline, che si può dire, un triplice atoll, non presenta che dei punti assai radi di terra ascintta; mentre l'isola Clipperton [1] (fig. 94 a) presenta uno stupendo atoll ovale, della lunghezza di 6 a 7 chilometri, molto somigliante al Cocos-Atoll, ma formante una cerchia ascintta, assai larga, quasi intera, rotta soltanto da due canali, l'uno a nord-est, l'altro a sud-ovest, con vasta laguna sub-quadrata.

Fig. 94. Isole coralline.
a Isola Clipperton; b Isola Natupe.

903. Si osservi del resto la carta dell'arcipelago di Paumotu (fig. 95) per avere un'idea del come si presentino questi gruppi di isole così singolari. Le isole Maldive nell'Oceano indiano sono una catena di banchi madreporici, stesa sopra 480 miglia geografiche da nord a sud. Le isole formano gruppi circolari, di cui i più considerevoli hanno un diametro di 40 a 90 miglia. Ogni gruppo è un atoll; le isole, ossia i punti emersi, sono fino a 100 per ciascun anello, lunghe da $^1/_2$ a 2 miglia.

Uno di tali anelli è l'Ari-Atoll, vero tipo degli atoll composti. Un grande anello ellittico cinge una grande laguna profonda da 150 a 200 piedi. Dal fondo di essa sorgono tanti piccoli atoll con tutti i requisiti, cingenti la loro piccola laguna, da soli 24 a 60 piedi di profondità.

904. Le tendenze degli atoll a presentare una forma annulare è dunque un fatto generale per certe regioni. La ragione di tal fatto dev'esserlo del pari. Risiederebbe forse in uno istinto particolare degli organismi degli atoll? Lo abbiamo già negato. Le varie specie prestano tutte l'opera loro al commune edificio, e l'isolamento delle singole colonie esclude affatto un'ipotesi, che non ha base in alcuna legge fisiologica. I coralli si fissano là dove trovano una data profondità, un opportuno ambiente, non tendono ad altro che a dilatarsi a norma delle leggi della loro moltiplicazione. Non si dimentichi poi che i banchi di corallo presentano la forma annulare degli atoll soltanto sopra certe aree, vastissime, ma pur limitate. Fuori di esse i banchi non hanno forma determinata.

[1] Si trova isolatissima nell'Oceano Pacifico, appena al disopra del 10° di lat. nord, e appena a est del 110° di long. (m.° di Greenwich).

905. Dovendosi ricorrere a cause estrinseche alla natura fisiologica, si cercò la ragione degli atoll nella forma preesistente del fondo stesso su cui si fissano i coralli.

Fig. 95. Arcipelago di Paomotu o Taumotu.

Esistono esse delle forme orografiche, che possono determinare la forma annulare d'un banco di corallo, il quale in fine non può essere altro che un' incrostazione di un anello preesistente? Sì; i crateri vulcanici.

906. Esistono vulcani sottomarini. L' isola Sabrina, l'isola Giulia non sono che sommità crateriche, le quali emersero dalle onde durante un' eruzione. La forma dei crateri è volgarmente nota; essa è quella di una caldaja svasata, sicchè un cratere spento spesso convertesi in lago. Un cono craterico consta di materiali assai incoerenti; sôrto dal mare è in breve dal mare demolito. Esso si degrada sino là dove giunge l' azione delle onde. Così avvenne della Sabrina e della Giulia. Il labbro degradato del cratere è l' anello preesistente sul quale si stabilisce la colonia corallina, che si alza mano mano fino alla superficie del mare, cingendo il cratere, converso in laguna, che più lentamente si colma. Ecco il cratere vulcanico converso in atoll. Un cratere vulcanico presenta sempre parti più elevate e parti depresse. Le parti elevate più presto emergono e formano le isole; le parti depresse, i canali. L' isola Pfingst non sarebbe così che un cratere totalmente adeguato dai polipi.

907. Eppure una teorica così appariscente non regge ai primi assalti della critica. Si rifletta da prima quale ingente numero di vulcani dovrebbero supporsi, se ogni atoll rappresentasse un cratere. Si conterebbero più vulcani in quegli arcipelaghi, che in tutto il mondo. Tutti quei vulcani poi bisognerebbe supporli una volta al di sopra del livello del mare, poi degradati fino a quella profondità, ove i coralli potessero fissarsi, ovvero supporli arrestati nel loro accrescimento a

poca profondità sott'acqua. La storia ha registrato le apparizioni dell'isola Giulia, dell'isola Sabrina e di altre: ma il supporre che sopra un'area relativamente ristretta sorgessero cento Giulie e cento Sabrine, soverchia di troppo i limiti d'ogni probabilità. Quelle isole poi devono essere, nell'ipotesi, demolite dal mare fino ad una profondità molto considerevole. Potrebbero dunque conservare nemmeno le traccie di un cratere? No certo. Osta anche al supposto la vastità degli atoll. Abbiamo eccezionalmente dei crateri, i quali, come il Conseguina e il Tenggher di Giava, misurano più di 20 chilometri di circonferenza: vedremo come i vulcani spenti d'Italia vantino dei crateri, la cui circonferenza si spinge fin verso i 30 chilometri. Ma i crateri che dovevano, nell'ipotesi, trasformarsi in atoll, misuravano ben altro giro. L'isola Natupe (fig. 94 *b*), p. es., è una delle più piccole nell'Arcipelago di Paumotù, e direbbe un cratere ellittico del diametro di 23 chilometri. Perchè si formasse nell'istesso arcipelago l'isola Nairsa, si sarebbe richiesto un cratere ellittico che avesse 200 chilometri circa di circonferenza, e così via via.

908. Se poi ci facciamo più presso a esaminare gli atoll, l'idea della loro origine vulcanica va sempre più sfumando, finchè diviene un assurdo. Gli atoll, p. es., descrivono ciò che si direbbe, in senso larghissimo, un circolo; ma sono ben lungi dal presentare quella regolarità che distingue i crateri vulcanici. Finchè uno osserva la veduta dell'isola Pfingst (fig. 27), o i piccoli anelli segnati sulle carte geografiche, può di leggieri indursi a fantasticare altrettanti crateri quanti sono gli atoll. Ma la fantasia dovrà presto essere vinta dalla riflessione, appena si osservino, p. es., l'isola Natupe (fig. 94 *b*), la triplice Menchikoff (fig. 96), le isole maggiori dell'Arcipelago Paumotù (fig. 95), ecc. Nelle porzioni asciutte degli atoll si vollero riconoscere le parti più elevate dei crateri, e nei canali quelle

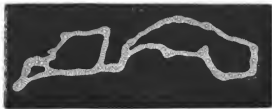



Fig. 96. Isola Menchikoff.

depressioni, o intaccature, dell'orlo craterico, che i vulcani mostrano ordinariamente. Ma intanto il lato ove un cratere è più elevato, è d'ordinario quello opposto alla direzione dei venti dominanti; viceversa, la parte più depressa. Negli atoll si verifica precisamente il contrario, e il perchè n'è

presto trovato. I venti dominanti accumulano più facilmente le ceneri e i lapilli sovra il lato del cratere opposto alla direzione degli stessi venti. Il detrito marino invece si accumula a preferenza su quel lato degli atoll che si trova immediatamente sotto il vento. I rapporti fra le parti elevate o depresse colla direzione dei venti dominanti escludono, anzi che confermare, l'origine craterica degli atoll.

909. Ben altra è la teorica di Darwin, la quale, se a prima giunta ripugna al senso, guadagna colla riflessione tutta l'evidenza, dando ragione di tutti i fatti presentati dalle isole coralline. Cominciamo dal riflettere quale debba essere la forma dei banchi di corallo, considerati in rapporto colle terre, cui sogliono circondare di una barriera d'isole e di scogli. Le terre, spingendo sotto le acque le loro basi, con un'inclinazione più o meno risentita, offrono ai coralli, a certa distanza dal lido, un fondo, ove possono fissarsi. [1] Dal fondo, ove si fissano la prima volta, si alzano verso la superficie del mare, dilatandosi al tempo stesso verso le terre e verso il mare. Ma se il loro progresso nel senso della elevazione si arresta alla zona di oscillazione fra l'alta e la bassa marea, da altre cause è pur limitato il loro laterale espandimento. Verso mare non possono avanzarsi di molto, impediti dalle profondità per loro inabitabili. Quanto all'avanzarsi verso terra, è raro che essi giungano a toccarla, e a stabilire veri banchi litorali. La ragione principale che obbliga i coralli a tenersi lontani dal lido sta nelle acque pluviali, o nelle correnti che vengono da terra. Per quegli animali, pei quali le acque salse più condensate sono prima condizione di esistenza, le pioggie torrenzionali della zona torrida bastano a tenerli ben lontani dai lidi, ove troverebbero inevitabilmente la morte. Ciò è tanto vero che, nel mar Rosso, ove sono ignote o quasi ignote le pioggie, Ehremberg osservò dei banchi di corallo che aderivano perfettamente al lido.

910. Dovendosi tener lontani da terra, nè potendo avanzarsi dove il mare è profondo, i coralli finiscono a fissarsi e a crescere sopra una zona relativamente angusta, parallela alle coste, e levandosi fino al pelo d'acqua, formano una barriera, un argine che circonda le terre. Abbiamo già avuto l'occasione (§ 340) di ammirare l'immenso sviluppo della barriera corallina, la quale corre parallela alle coste orientali dell'Australia, con una fuga di oltre 2000 chilometri, sopra una larghezza di soli 59 chilometri, fino al punto

[1] Abbiamo veduto come le grandi specie sociali si fissino a profondità molto mediocri. La profondità di 40 m. si può già considerare come massima. Invano si cercherebbero banchi di corallo nelle profondità oceaniche appena considerevoli. Per conseguenza, prescindendo dagli atoll, di cui si cerca l'origine, i banchi di corallo si stringono molto da vicino alle terre.

dove è interrotta dalle correnti di terra che sboccano in mare dalla parte di sud-est. Ogni isola, ogni scoglio emergente sotto la zona torrida presta ugualmente una base ai coralli, che si affrettano a cingerlo di una ghirlanda vivente. La nave, che approda a qualunque delle isole disseminate nei grandi oceani, deve prima superare la barriera che la difende con una catena di perigliosi banchi, in parte emersi, in parte ancora celati in seno alle onde. Ogni isola maggiore si cinge così una corona di isolette, che ne delineano il perimetro a una distanza maggiore o minore dal lido.

911. Quale è la forma di quelle barriere coralline? Precisamente la forma degli atoll; quella di una ghirlanda di isole e di banchi di corallo, che cinge una laguna, a cui si accede per una o più parti depresse, ossia per uno o più canali. L'unica differenza che distingue quelle isole a barriera corallina da un atoll, sta in questo che là, dal seno della laguna, sorge un'isola rocciosa; qui invece la laguna è libera. In fine si confronti l'isola Pfingst (fig. 27) coll' isola Bola-Bola (fig. 97), una delle meraviglie del-

Fig. 97. Isola Bola-Bola nell'Arcipelago di Thaïti.

l'Arcipelago di Thaïti. Il monte Pahia sorge acuto nel mezzo. È una massa basaltica, che, sormontata in alto da un picco formidabile, dell'altezza di 200 piedi, e coperta di ricca vegetazione alla base, sembra, dicono i viaggiatori, un mazzo di fiori circondato da una ghirlanda. La fig. 97 porta l'osservatore nell'interno dell'isola, davanti alla rupe, la quale sorge nel mezzo di una laguna annulare, che si vede chiusa all'ingiro da un argine corallino, tutto a secco, e coperto di cocchi. Levate la montagna dal mezzo della laguna, o l'isola Bola-Bola più non si distingue dall'isola Pfingst.

912. Talvolta, in luogo di una sola montagna o isola rocciosa, sorgono più montagne o isole dal seno della laguna. Così si presenta il gruppo delle isole Gambier (fig. 98) verso l'estremità sud-est dell'Arcipelago di Pau motù. Lave, basalti, tufi vulcanici, costituiscono un gruppo di isole abbastanza elevate. Il monte Duff, punto culminante del gruppo centrale vanta una elevazione di 1248 piedi sopra il livello del mare. Una grande

barriera di coralli, con una cerchia di forse 60 chilometri, interrotta soltanto da ampli canali dal lato di nord-ovest, cinge tutto quel gruppo d'isole all'ingiro. Che sarebbe necessario per convertire quel gruppo d'isole in un grande atoll, il quale riuscirebbe però ancora molto più piccolo di quello dell'isola Nairsa, nello stesso arcipelago? Sopprimere le sporgenze rocciose, lasciando la barriera corallina a cingere il vuoto lasciato dalle soppresse sporgenze, a cingere la vasta laguna.

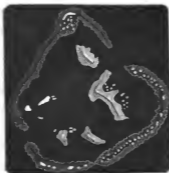



Fig. 98 Gruppo delle isole Gambier.

913. Sopprimere le montagne... è presto detto. Ma si può egli parlarne seriamente come di un fenomeno possibile? Certamente: noi possiamo anzi parlare della sua possibilità, come della possibilità di uno tra i fenomeni più volgari, perchè ormai ci siamo avvezzi a noverare tra' fenomeni più volgari le oscillazioni della crosta del globo. Fate che avvenga una oscillazione sul fondo marino; che il fondo marino si abbassi, come abbiamo veduto, sovra aree così vaste, sollevarsi e abbassarsi i continenti. Abbassandosi il fondo marino, le isole rocciose scompajono, cioè si sommergono. — Ma in questo caso scompare, si sommerge anche la barriera. — Si; ma quelle isole non possono rifarsi: la barriera invece lo può, e rifacendosi diviene un atoll.

914. Supponiamo, p. es., che il fondo del mare si abbassi sotto l'isola Bola-Bola (fig. 97), ma lentamente, come vedemmo alzarsi i continenti, con quella lentezza, cioè, che dà tempo ai coralli di svilupparsi, in guisa che alzandosi sempre, si mantengono sempre presso la superficie del mare. La rupe va a poco a poco sommergendosi; ma la barriera corallina di continuo si innalza, mentre il mare, che di continuo cresce su di essa, vi rinova continuamente le condizioni della vita. La rupe in fine scompare, e il suo luogo è occupato dal mare. Che rimane? Una barriera di coralli, che cinge una laguna: un atoll. L'isola Bola-Bola ha preso la forma dell'isola Pfingst (fig. 27).

915. Ecco la teoria di Darwin che risponde di tutti i fatti, i quali altrimenti rimangono come altrettanti problemi senza soluzione. Si getti uno sguardo sul Cocos-Atoll (fig. 93), sull'isola Clipperton (fig. 94 *a*), sulla triplice Menchikoff (fig. 96), sull'intero Arcipelago di Paomotù (fig. 95); poi si dica se quelle isole, quell'arcipelago, non rappresentino, assai me-

glio che crateri vulcanici, il vuoto lasciato, dirò la negativa, di montagne e catene di montagne sommerse.

916. Ammessa questa teorica, osserviamo quanto ne acquisti di evidenza e di grandiosità il concetto delle lente oscillazioni della crosta del globo. Oscillano i continenti; oscillano i mari. Se i continenti ci offrono così vasti segni di sollevamento, i mari ci offrono a preferenza gli indizi di vasti abbassamenti. Le conchiglie marine, le gallerie dei litofagi, gli edifizi costrutti dall'uomo, sono i monumenti delle oscillazioni delle aree asciutte: monumenti delle oscillazioni delle aree marine sono gli atoll.

917. La vastità dell'area, di cui gli atoll accusano l'abbassamento nell'Oceano Pacifico, è veramente enorme. Sulla *Carta fisiografica* che accompagna il *Manuale* di Dana, è tracciata una linea da nord-ovest a sud-est attraverso il Pacifico. Questa linea parte dalle isole Pelews (ovest-nord-ovest della Nuova Guinea) e termina all'isola Pitteairus (circa 130° di longit., a S. E. di Thaïti) e divide le isole di corallo da quelle che nol sono.[1] A nord di detta linea, fino all'altezza delle isole Hawaian, tutte le isole sono atoll, eccetto le Marchesi e tre o quattro Caroline. Ritenuto che gli atoll segnino una depressione, l'abbassamento si sarebbe verificato sopra una zona lunga 11,000 chilometri all' incirca, e larga da 1800 a 3700. Si potrebbero quindi considerare quegli atoll come i punti culminanti di un vasto arcipelago, o anche di un continente sommerso, della estensione di 20 a 40 milioni di chilometri quadrati, esteso cioè a un dipresso quanto l'America settentrionale o l'Asia (§ 11). Bisogna notare, che la direzione da nord-ovest a sud-est di quell'area, che si suppone abbassata, è precisamente quella degli arcipelaghi corallini, disseminati sopra l'area stessa, e quegli arcipelaghi delineerebbero altrettanti sistemi di catene parallele, il cui complesso disegna un continente scomparso, ossia un grande rilievo da nord-ovest a sud-est. L'Arcipelago di Paomotù (fig. 95), p. es., delinea da sè due catene parallele nella direzione indicata. I singoli atoll, che lo compongono, segnano anch'essi, coi loro assi maggiori, la stessa direzione approssimativa. Qui, come in genere si verifica pei continenti attuali, le singole montagne, rappresentate dai singoli atoll, sono allungate nel senso delle catene, rappresentate dagli arcipelaghi corallini, e le singole catene sono dirette parallelamente all'asse dell'area depressa, ossia del continente sommerso.

918. Si osserva come a nord di quella linea tracciata dal Dana, gli atoll, da prima assai vasti, vanno diminuendo d' estensione verso l' equatore, e quasi scompajono a nord di esso. Secondo l' autore, la piccolezza degli

[1] Per isole di corallo si intendono le isole composte di banchi di corallo, non già quelle sulle cui coste si possono trovare banchi di corallo.

atoll, e più ancora la loro assenza, sono indizi di un abbassamento tanto maggiore. Su questi dati egli segna un'altra linea, obliquo-trasversale alla prima, e sarebbe l'asse d'oscillazione dell'area descritta, la quale si abbassò, con un moto di altalena, risultando l'abbassamento maggiore dal lato di nord. Per misurare il valore di tale abbassamento Dana si appoggia agli scandagli praticati all'ingiro di alcune isole coralline e ne inferisce un abbassamento di 3000 piedi. Osservando poi come siano circa 200 le isole scomparse, cioè trasformate in atoll, e paragonandole alle isole che ancora esistono, che, cioè, non furono convertite in atoll, ne deduce un abbassamento di 6000 piedi. Tale abbassamento sarebbe ora cessato: anzi si verificano già dei casi di parziali sollevamenti, e si trovano diverse isole coralline, che emergono dal mare ben oltre quell'altezza a cui i coralli possono spingere i loro edifici[1].

919. Gli atoll non si limitano all'Oceano Pacifico, essendo disseminati anche nell'Oceano Indiano. Le isole Maldive, p. es., formano una catena di banchi corallini, della lunghezza di 480 miglia geografiche da nord a sud. Quelle miriadi di isolette sono distribuite in gruppi circolari, aventi fin da 40 a 90 miglia di diametro. Ogni gruppo è un atoll, e ogni atoll numera fino a 100 punti emersi, ossia isolette, della lunghezza di $^1/_2$ a 2 miglia. L'Ari-Atoll, altro di quei gruppi, è un grande anello ellittico, che cinge una grande laguna profonda da 150 a 200 piedi. Dal fondo della laguna si spiccano tanti piccoli atoll, e cingono la loro piccola laguna di 24 a 60 piedi di profondità.

920. Mi mancano notizie circa la forma degli arcipelaghi dell'Oceano Indiano; ma è assai probabile che i due grandi oceani, i quali in realtà non ne formano che un solo, siano andati soggetti alle stesse vicende, abbiano sofferte le stesse oscillazioni. L'ipotesi acquisterà quasi il valore di un fatto dimostrato, quando vedremo come la formazione degli oceani attuali corrisponda alla formazione degli attuali continenti, e come questa abbia avuto luogo in epoca relativamente recentissima, per effetto di un sollevamento che, secondo ogni apparenza, è in attualità di progresso.

Conchiudendo: la crosta del globo è soggetta a oscillare, a sollevarsi e ad abbassarsi in modo insensibile. Ma le oscillazioni acquistano tale valore col tempo che non dovremmo più meravigliarci, quando ci venissero a dire, che gli attuali continenti sono il risultato di un progressivo solle-

[1] Si citano come sollevate le seguenti isole coralline: Oahu (Isole Hawaian), 25 piedi; Elisabetta (arcipelago di Paomotù), 80 piedi; Metia o Aurora, 250 piedi; Atiù (gruppo di Herwey), 12 piedi; Mangaia, 300 piedi; Rurutu, 150 piedi; Enea (gruppo di Tonga), circa 300 piedi; Vavau, 100 piedi; Savago, 100 piedi (Dana, *Manual*, pag. 587).

vamento degli antichi fondi marini, e gli attuali oceani quello di un progressivo abbassamento degli antichi rilievi continentali.

921. Quale è la causa di queste telluriche palpitazioni? La dinamica terrestre non potrebbe che balbettare una risposta incompleta, inconcludente. È qui dove sentiamo di non poter più dare un passo, senza porre a confronto il presente col passato. Una volta che il presente avrà dato la favella al passato, il presente e il passato si intenderanno tra loro, si daran luce a vicenda. La dinamica terrestre genera la geologia; ma la geologia alla sua volta, fatta adulta, completa la dinamica terrestre. Ciò vuol dire che l'una e l'altra nascono e crescono per lo stesso progressivo lavoro della mente che, a forza d'osservazioni, di esperienze, di confronti, di deduzioni, riesce a penetrare il mistero della vita del globo, per cui questo meraviglioso portato della Virtù creatrice, una volta lanciato negli spazi per una serie non interrotta di progressive evoluzioni, riuscì a essere quale in oggi ci si presenta, in via di continuo svolgimento, fino al termine che gli è prefisso da Colui che di tutto è principio e fine.

FINE DEL VOLUME PRIMO.

INDICE DELLE MATERIE.

PARTE PRIMA

DINAMICA TERRESTRE ESTERNA.

PARTE SECONDA.

DINAMICA TERRESTRE INTERNA.

INDICE DELLE FIGURE.

CONDIZIONI D'ASSOCIAZIONE.

L'opera si comporrà di 3 grossi volumi in-8°, di 600 e più pagine cadauno, in buona carta e caratteri nuovi, ornati di circa 250 incisioni in legno, eseguite dai migliori artisti.

Sarà distribuita in fascicoli di 4 fogli da 16 pagine ognuno, con coperta, al prezzo di L. 1.20.

Cominciando dal gennaio corrente si pubblicheranno regolarmente due fascicoli al mese. L'opera essendo distribuita in circa 30 fascicoli, sarà ultimata in poco più d' un anno.

Per meglio assicurare la regolarità e la sollecitudine delle spedizioni, le associazioni si ricevono, in Milano, unicamente dall'editore libraio **Gaetano Brigola** (CORSO VITTORIO EMANUELE, VICINO A S. CARLO); nelle altre città del Regno e fuori, dai principali librai.

Chi intende associarsi non ha che a sottoscrivere la cedola compiegata nel *Programma-Saggio* in data 25 Novembre 1870, e rinviarla al suo indirizzo con francobollo da centesimi 20.

Chi verserà anticipatamente il prezzo dei tre volumi in L. 27, od anche di un solo volume per volta in L. 10, nel primo caso verrà a fruire del beneficio di L. 9 sull'importo totale dell'opera, nel secondo il beneficio sarà di L. 2 per ciascuno dei volumi di cui sarà stato anticipato il pagamento. Nell'un caso e nell'altro l'associato riceverà franche di porto le dispense soddisfatte, mano mano che saranno pubblicate.

Coll'ultimo fascicolo di ciascun volume si darà *gratis* la copertina e il frontespizio del medesimo.

Milano, 12 gennajo 1871.

I Coeditori:

GIUSEPPE BERNARDONI, tipografo.
GAETANO BRIGOLA, libraio.